

汀線および前浜断面の短期変動に及ぼす異常潮位の影響

青 木 伸 一*・小 畑 浩 子**

1. ま え が き

1999 年秋, 紀伊半島から静岡県に及ぶ東海地方沿岸において, およそ 2 ヶ月間にわたって潮位偏差 30 cm 程度の異常潮位が観測された。これと時期を合わせて, 特に大きな台風の来襲がなかったにもかかわらず, 遠州灘海岸で数十メートルにも及ぶ大規模な汀線の後退がみられた。この異常潮位の原因は, 駿河湾から遠州灘沿岸域を西に向かう黒潮逆流の形成によるものと考えられている。異常潮位にともなう大規模な砂浜の侵食は, 潮位の低下とともに徐々に回復したが, 短期的な海岸侵食に及ぼす潮位上昇の影響が意外に大きいことがわかった。汀線位置および前浜断面の短期的な変動特性を把握しておくことは, 砂浜海岸の保全を考える上で極めて重要であるが, 今回の異常潮位による侵食により, 波浪外力だけでなく, 数ヵ月スケールの平均潮位の変動に対する汀線の応答を調べる必要があることが示された。また, 近年, 地球温暖化に伴う海面上昇による砂浜の侵食が危惧されているが (三村ら, 1993), その影響を推察する上でも, 貴重なデータを与えるものであった。

本論文では, 著者らが遠州灘に面した砂浜海岸において継続的に行ってきた前浜断面の測量データを, 潮位・波浪データと比較することにより, 平均潮位の変動および波浪条件の変動に対する汀線位置および前浜断面の短期的な応答特性について論じている。断面測量は海岸構造物の設置状況が異なる近接した 3 ヶ所の海岸で行っており, 汀線変動に及ぼす海岸構造物の影響についても比較している。

2. 汀線の短期変動に関する既往の研究

ここでは, 汀線位置の短期変動に関する代表的な研究例として, 砂村らおよび加藤らの研究について簡単にレビューしておく。Sunamura and Horikawa (1974), 堀川ら (1975) は, 水理実験データを整理することにより, 海浜断面が 3 つのタイプに分類されることを示し, それらのタイプを決定するパラメータとして, 次式で表され

る無次元量 C を提案した。

$$C = \frac{H_0}{L_0} (\tan \beta)^{0.27} \left(\frac{d}{L_0} \right)^{-0.67} \dots\dots\dots (1)$$

ここに, H_0 , L_0 は沖波の波高および波長, $\tan \beta$ は海底勾配, d は底質粒径である。また, このパラメータを用いて, 汀線が侵食過程にあるか堆積過程にあるかが判断できることを示した。さらに, 砂村 (1980) は現地データを整理することにより, $C=18$ が現地での汀線の前進・後退の限界値を与えることを明らかにし, C を用いた汀線の時間変動モデルを提案した。

一方, 加藤ら (1987) は, 波崎海岸における毎日の海浜断面測量データをもとに, 汀線変化の特性を詳細に論じた。加藤らは, 波浪外力の代表値としてエネルギーフラックス E を用いているが, ある特定の現地海岸 (海底勾配 $\tan \beta$ および底質粒径 d が同一) について考える場合は, E と C には高い相関があることが示されている。式 (1) から明らかなように, 砂村らのモデルでは, 特定の海岸においては, 汀線の前進・後退は来襲する波の特性のみによって決まることになる。それに対して, 加藤は汀線の変動は, 波浪条件だけでなく, 現状の汀線がどこに位置するかによって変わることを示した点が特徴的である。すなわち, 与えられた波浪条件に対して, ある安定な汀線位置が存在し, 汀線はその平衡位置に向かうように入退すると考えるものである (ただし, 汀線の変化速度は堆積過程と侵食過程で大きく異なる)。

潮位変動の影響については, 彼らの論文中でもその検討の必要性が述べられてはいるが, いずれのモデルにも考慮されていない。ただし, 彼らのモデルは現地データで検証されていることから, 潮位の日変動の影響については, 陰にモデルの中に反映されていると考えるべきであろう。一方, Bruun (1962) は, 海浜平衡断面の考えから, 海面上昇に伴う汀線変動量の算定式を提案している。ただし, これは潮汐変動よりもずっと長い時間スケールの変動を想定したもので, 今回対象にするような, 数ヵ月程度の時間スケールでの平均潮位上昇の影響に適用できるかどうかは不明である。

* 正会員 工博 豊橋技術科学大学助教授 建設工学系
** 豊橋技術科学大学大学院 工学研究科建設工学専攻

3. 対象海岸および調査内容

前浜断面の測量は、図-1に示す豊橋市の渥美半島太平洋岸の直線的な砂浜海岸において、1999年5月からほぼ毎週1回継続的に実施している。なお、当海岸の長期的な変動特性については、青木ら(1999)を参照

されたい。測線は、図中に示すように、数km離れた特性の異なる3箇所の海岸(A, B, C)に設定している。A海岸は植生帯近傍に消波ブロックが置かれているが、通常の波の遡上位置よりもかなり高く、ほとんど自然海浜とみなせる海岸である。B海岸は高潮位・高波浪時には波が作用する位置に消波ブロックが設置されている。C海岸は沖合に設置された5基の離岸堤群の最も東側の離岸堤(離岸距離300m, 1998-1999年施工)背後に位置する海岸である。図-2に、測量を開始した1999年5月26日の3海岸の海浜断面を示している。断面は見やすいように水平にずらして描いてあるが、いずれの海岸も平均勾配1/16程度の砂浜海岸であり、前浜の粒径は0.3mm程度である。測量は干潮時に行うようにしているが、平均海面位置まで毎回測量することは困難であるので、汀線位置はH.W.L.と砂浜表面の交点として定義した。汀線位置以外に、H.W.L.より上部の砂浜断面面積およびH.W.L.付近の前浜勾配を前浜の変動を表す指標として用いた。

潮位データについては、浜名湖内に位置する舞阪(図-1参照)での潮位観測データを用いた。舞阪の潮位変動は外洋に比べると振幅と位相が若干異なっているが、今回対象とするような長周期の潮位変動については外洋とほぼ同一とみなせるものと考えた。波浪データについては、建設省中部地方建設局東海幹線道路調査事務所が神島灯台沖南西約6.7km(水深42.7m)でブイ式波高計により2時間毎に観測しているデータを使用した。図-1に示すように、波浪観測地点は対象海岸から西に約50km離れた伊勢湾口に位置しており、対象海岸とは波浪特性が異なることが予想される。特に冬場の波浪についてはNあるいはNE方向の波が卓越するので、今回は5月から11月末までの波浪データのみ使用することとし、簡単のために神島沖での観測値そのものを対象海岸への入射沖波とみなして以下の検討を行った。

4. 潮位、波浪および前浜の変動

図-3には、1999年5月から2000年5月までの1年間の3海岸における汀線位置、砂浜断面面積および前浜勾配

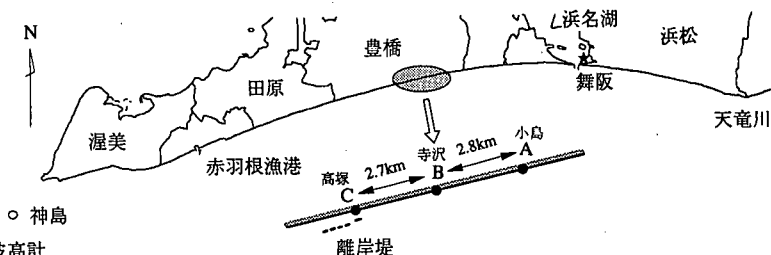


図-1 調査対象海岸と潮位・波浪の観測点

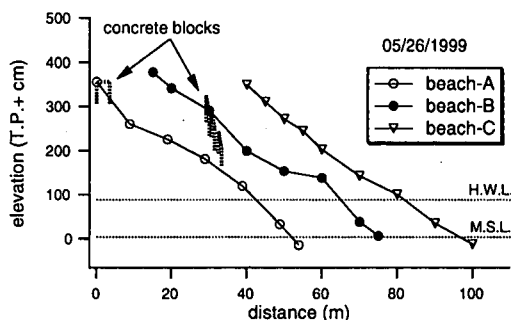


図-2 対象海岸の初期断面と消波ブロックの配置

の変動を示している。汀線位置および砂浜断面面積については、測量開始日の値からの変動量(Δy , ΔA)として表している。また図には、潮位、日平均の有義波高および有義波周期、それらをもとに算定した波のエネルギーフラックスについても同時に示してある。潮位は1時間毎の水位にそれを24時間移動平均した値を重ねてプロットするとともに、異常潮位を明確にするために、舞阪の潮位定数表を用いて計算した推算潮位と実測潮位とのずれの長周期成分を異常潮位成分として示した。

まず潮位データをみると、9月中旬から11月末にかけて継続的な潮位上昇が観測されており、この期間は通常よりも30cm程度平均潮位が上昇していることがわかる。一方、来襲波浪をみると、異常潮位が発生した期間には比較的波高の大きい日が多いが、この年の秋は台風の接近がなかったことから、エネルギーレベルはあまり高くなく、むしろ8月初旬に観測されている高波浪の方が大きいことがわかる。

前浜の変動をみると、海岸AおよびBにおいては、9月から10月にかけての平均潮位の上昇に対応して汀線が後退し、10月中旬には初期汀線位置より20m程度侵食されている。11月初旬から、潮位は依然として高いにもかかわらず、汀線が前進しはじめ、異常潮位が終息する11月末にはほぼ元の汀線位置に戻っている。その後汀線は安定し、1月末からゆっくり後退傾向にある。一方、離岸堤背後にある海岸Cでは、異常潮位期間中は侵食傾向にあるものの、汀線変動特性はA, B海岸とは大きく

異なり、全体として見た場合、汀線は前進傾向にあることがわかる。離岸堤が建設されてまだ間もないことから、これには沿岸漂砂による地形変動も含まれていると考えられる。砂浜断面積の変化は、汀線変化とほぼ同様の变化傾向を示しているが、やや変動が丸められた形になっている。前浜勾配については、汀線が後退した異常潮位期間前後で急勾配になっている。また、離岸堤背後の海岸 C では全体的に勾配が緩やかである。

図-4 は、海岸 B における異常潮位前後の前浜断面を

比較したものである。異常潮位が発生する前の 8 月末には大きなバームが形成されていたが、10 月 20 日までは大量の砂が消失し、それまで砂に埋もれていた消波ブロックが現われ、ブロック前面は大きく侵食された。その後、12 月の初旬には汀線位置はほぼ回復し 4 月までほぼ安定しているが、ブロック前面の洗掘はまだ回復していない。海岸 A についても断面変化はほぼ同様の変動を示すが、図-3 でも明らかなように、消波ブロックのある海岸 B に比べて変動量は若干小さくなっている。また、

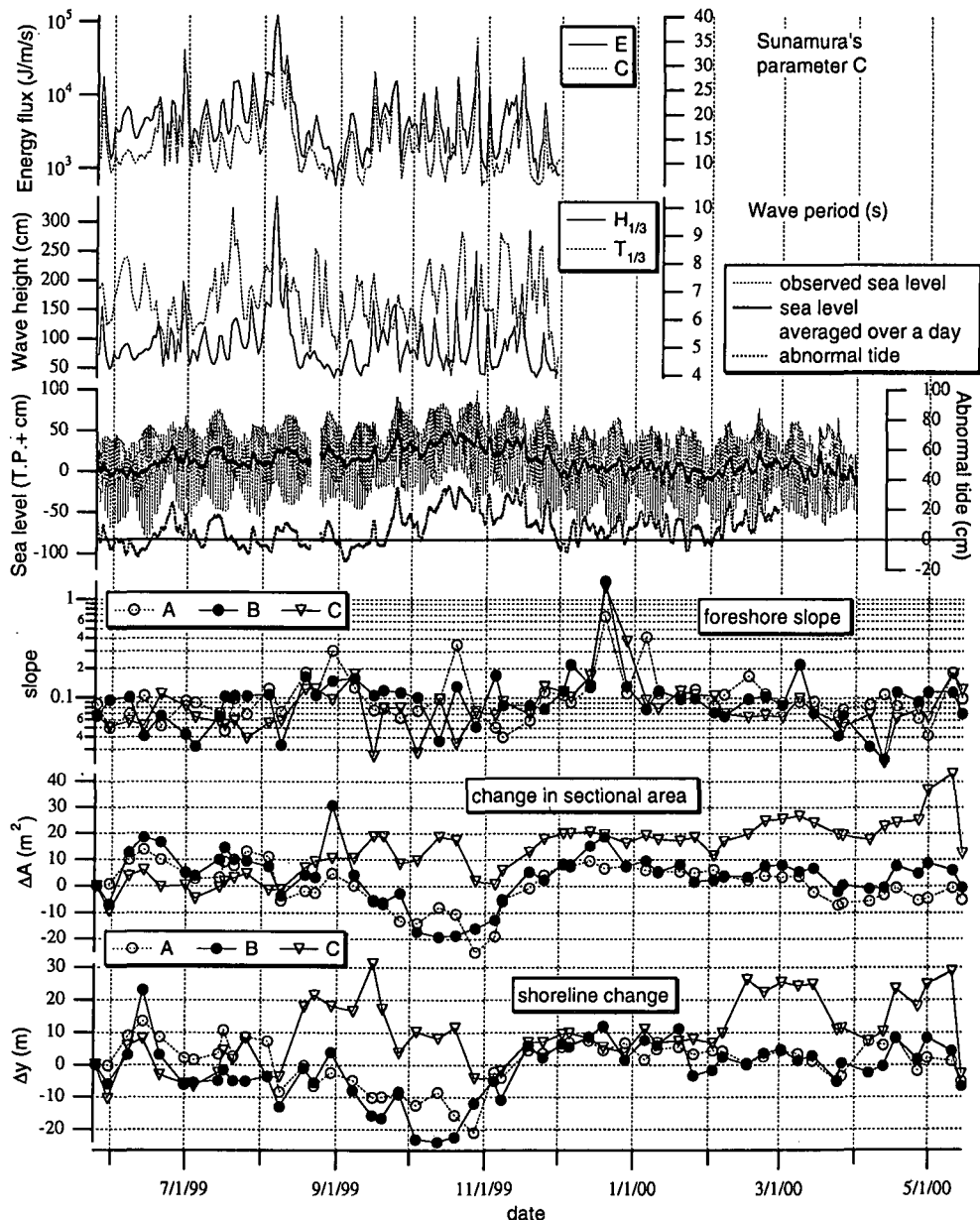


図-3 観測期間中の前浜および潮位・波浪の変化

図-5は海岸Cにおける前浜断面の変化を、図-4と同日のデータで比較したものである。海岸AおよびBで大きく汀線が後退した10月20日においても、海岸Cではあまり侵食されておらず、離岸堤の効果が現われていることがわかる。

5. 汀線の変動特性について

図-3に示したように、離岸堤のない海岸AおよびBについては、汀線位置は平均潮位の変動と密接な関係があるように見受けられる。以下では、潮位変動および波浪条件が海岸AおよびBの汀線変動に及ぼす影響について検討する。前述したように、波浪に対する汀線変動を議論する際には式(1)のCあるいはエネルギーフラックス E が用いられる。図-3に両者を比較して示しているが、加藤らも指摘しているように、現地データでは両者の相関は高く、以下では E を代表値として用いることにする。ただし、波浪データがある程度信頼できる11月末までのデータのみを用いた。

図-6は、観測期間中の平均汀線位置(y_{mean})と測量日当日の汀線位置(y)との差を、前回の測量日から当日までの期間の平均潮位(η_{mean})に対してプロットしたものである。ばらつきは大きい、潮位が高くなると汀線が後退している傾向が現われている。図中、シンボルに×をつけたケースは、エネルギーフラックスの平均値(前回測量日から当日までの平均)が全体の平均値よりも大きな値を示したケースであるが、エネルギーフラックスの大小と汀線位置の関係は明確に現われていない。

図-7は、前回の測量日との汀線位置の差を経過日数で除して求めた汀線変化速度を、上記の平均潮位に対してプロットしたものである。ここでも、シンボルに×をつけたケースはエネルギーフラックスの平均値が大きなケースを示している。図から、汀線変化速度については、潮位に対してもエネルギーフラックス同様明確な対応関係はみられないことがわかる。

以上の様に、今回のデータから、汀線変動に及ぼす潮位および波浪の影響をそれぞれ明確に示すことは難しい。そこで、潮位変動に対する汀線の応答を加藤らの考えを適用して推察してみる。加藤らはエネルギーフラックスと汀線位置の間にある安定な関係があることを示し、エネルギーフラックスの変化に対応して汀線位置が変動するとしている。今、潮位が変動する場合を考えると、Bruunの考えと同様に、潮位の変動によって、その安定な関係そのものが変化することが考えられる。つまり、たとえ波浪条件は同じでも潮位が上昇することによって、汀線の平衡位置が岸側に移動し、その結果、加藤らの示した侵食メカニズムと同様に急激な侵食が生じると考えることもできよう。

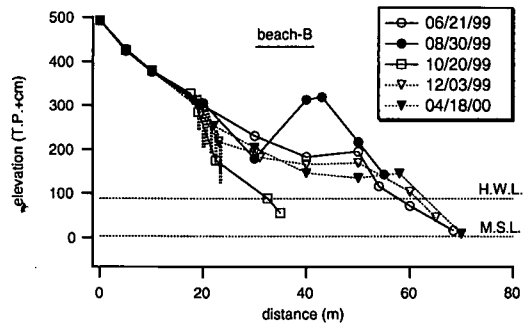


図-4 海岸Bにおける前浜断面の変化

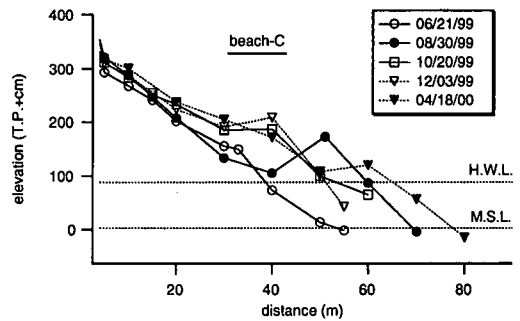


図-5 海岸Cにおける前浜断面の変化

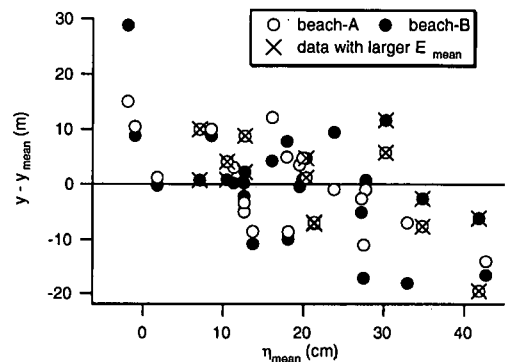


図-6 汀線位置と平均潮位の関係

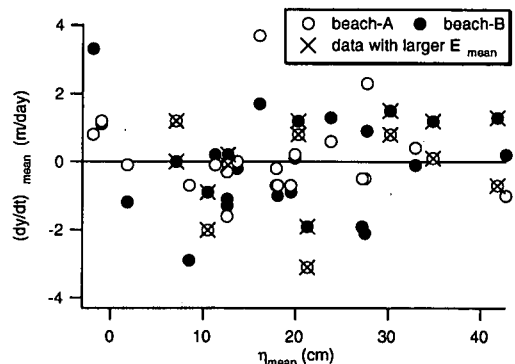


図-7 平均汀線変化速度と平均潮位の関係

6. 潮位変動に伴う汀線変化の予測—Bruun 則との比較

最後に、海水面の長期変動に伴う汀線の変化を表すモデルである Bruun 則を今回の実測結果に適用してみる。Bruun 則については、これまでにいろいろな改良がなされているが (Dean, 1990; 三村ら, 1993), 三村らによれば、いづれを用いても予測結果はそれほど大きくは変わらないようなので、今回は次式で与えられる最もシンプルなものを用いた。

$$\Delta y = -\frac{\Delta \eta}{\tan \beta} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 $\Delta \eta$ は平均潮位の変動量である。海底勾配 $\tan \beta$ については、対象海岸の水深 15 m 程度までの平均的な勾配である 1/100 を採用した。また、平均潮位については、24 時間移動平均では短周期の変動が残るので、1 週間 (168 時間) の移動平均値として求めた後、測量開始日との潮位差を変動量 $\Delta \eta$ として与えた。

図-8 は、式 (2) による予測結果を実測値と比較したものである。海岸 A および B については定量的にも定性的にも比較的良好に合っているが、潮位変動よりも若干先行して汀線が変動しているのが特徴的である。潮位変動に先行して地形変化が現われるとは考えられないので、これには波浪の影響が何らかの形で寄与しているものと思われるが、本研究ではその理由を明らかにするまでは至らなかった。

7. あとがき

本研究では、前浜断面の定期的な測量データを用いて、異常潮位が汀線の短期変動に及ぼす影響について検討を加えた。前浜断面は数日のうちに大きく変化することがあり、毎週 1 回の測量でも詳細な議論がしにくいところがあるが、今後さらにデータを蓄積し、汀線変動を波浪および潮位データと比べながら、より詳細に調べていく予定である。本研究で得られた主な知見を以下に示す。

(1) 2~3 ヶ月間にわたる 30 cm 程度の平均潮位の上昇は大きな汀線の後退を引き起こす要因となり、汀線変動との対応関係は、波浪外力よりも明確に現われる。

(2) 離岸堤背後にある海岸については、汀線の短期変動特性が自然海浜とは大きく異なっている。

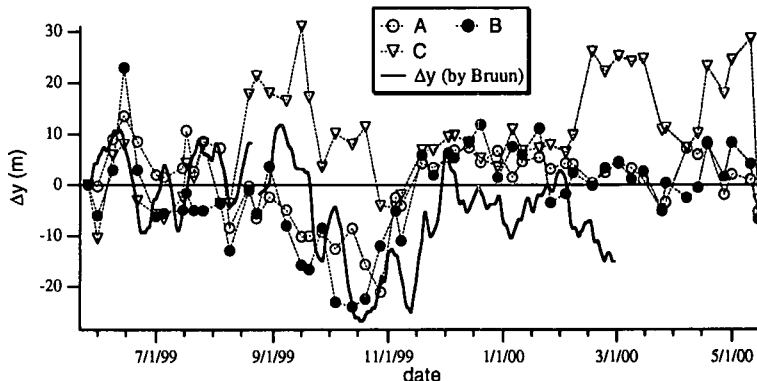


図-8 Bruun 則による汀線変化予測結果と実測値の比較

(3) Bruun 則を用いることにより、異常潮位に伴う汀線の変動をある程度予測することができるが、潮位変動と汀線変動に位相差があり、波浪の影響を考慮する必要があることが示唆された。

本研究を行うに当たり、建設省中部地方建設局東海幹線道路調査事務所および愛知県豊橋土木事務所には貴重な調査データを提供していただいた。また、現地海岸の測量には豊橋技術科学大学の学生諸君の協力を得た。さらに本研究は、文部省科学研究費基盤研究 (A) (1) 「全日本比較河口学に基づく河口処理指針の総括」(研究代表者: 田中 仁, 課題番号 10305036) の補助を受けて行ったものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 青木伸一・真田誠至・歌津宏康 (1999): 天竜川以西の遠州海岸の汀線変化と沿岸漂砂量分布の推算, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp. 661-665.
- 加藤一正・柳嶋慎一・村上裕幸・末次広見 (1987): 汀線位置の短期変動特性とそのモデル化の試み, 港湾技術研究所報告, 第 26 巻, 第 2 号, pp. 63-96.
- 砂村継夫 (1980): 自然海浜における汀線位置の時間変化に関する予測モデル, 第 27 回海岸工学講演会論文集, pp. 255-259.
- 堀川清司・砂村継夫・近藤浩右・岡田 滋 (1975): 波による二次元汀線変化に関する一考察, 第 22 回海岸工学講演会論文集, pp. 329-334.
- 三村信男・幾世橋慎・井上啓子 (1993): 砂浜に対する海面上昇の影響評価, 海岸工学論文集, 第 40 巻, pp. 1046-1050.
- Bruun, P. (1962): Sea-level rise as a cause of shore erosion, J. Waterways and Harbors Div., ASCE, 88 (WW1), pp. 117-130.
- Dean, G. R. (1990): Beach response to sea level change, The SEA-Ocean Engineering Science, Vol. 9, part B, Wiley Interscience, pp. 869-887.
- Sunamura, T. and K. Horikawa (1974): Two-dimensional beach transformation due to waves, Proc. of 14th ICCE, pp. 920-938.