

波崎海岸における汀線位置の長期変動特性

鈴木崇之¹・栗山善昭²

波崎海洋観測施設において15年間にわたり休日を除く1日1回計測された地形断面より汀線位置の変動特性を検討した。汀線位置変動は6ヶ月, 9ヶ月, 1年周期が卓越し, さらに, 1,000日以上長の長周期変動も有していた。観測期間の前半と後半とに分けて長周期変動の特性を見ると, 1995年以前には4.5年周期, 1995年以後は3.2年および7.5年周期の変動が卓越していた。汀線位置の変動と沖波のエネルギーフラックスとの関係を検討した結果, 汀線位置の長周期変動の変化量は岸沖方向成分のエネルギーフラックスの長周期変動とは相関が見られただけども, 沿岸方向成分のそれとは相関は見られなかったことから, 汀線の長周期変動には岸沖方向成分のエネルギーフラックスが影響していると結論づけられた。

1. はじめに

汀線位置は碎波帯内での波・流れの影響を受けて静穏時には前進し, 荒天時には後退することが知られている。この汀線位置の変動を把握し, さらに, 予測することは海岸保全や海岸管理の面からも重要である。

短期的な汀線位置の変動予測に関しては, いくつかの算定式が提案されている。砂村(1980)は深海での有義波高および有義波周期を用いた式を提案し, 3ヶ所の現地データによる検証を行い概ね良好な結果を得ている。また, 加藤ら(1987)は沖波のエネルギーフラックスを用いた式を提案し, 日々の汀線位置変動を精度良く算出している。しかし, これらの提案式を用いた汀線位置変動の再現期間は, 長期的な変動が明確には現れない数週間から数ヶ月間となっている。そのため, より長期的な汀線位置の変動を予測するには汀線位置の長期データを解析し, その特性を把握することが必要である。しかしながら, 長期変動についての詳細な検討は, 現地データの不足により解析はほとんど行われてこなかった。

そこで本研究では, 茨城県波崎海岸にて計測された15年間の地形断面データおよび沖波波浪データを用いて, 長期的な汀線位置の変動特性を把握すると共に, 汀線位置の変動に大きな影響を及ぼしていると考えられる沖波のエネルギーフラックスとの関係についても検討を行った。

2. 現地観測データの概要

波崎海洋研究施設(HORS, 図-1)の位置する茨城県の波崎海岸では, 長さ約400mの観測栈橋に沿って, 休日を除く1日1回地形断面を計測している。陸上部はスタッフとオートレベルを用いて測量し, 海域部は栈橋

上から重さ約3kgのレッドを海底面まで降ろして測量を行っている。また, 沖波の波高および周期は, 鹿島港沖の水深約24mの地点(図-1)に設置された超音波式波高計により2時間毎に観測されている。

本研究では, 計測された地形断面データおよび鹿島港沖にて観測された沖波波浪データのうち, 1987年1月から2001年12月(15年間)までを解析に使用した。図-2は解析期間中の平均地形断面とその標準偏差を示したものである。なお, 以下では, 岸沖方向位置(x)を図-2の座標軸を基に示す。図中, $x = -25\text{ m} \sim 25\text{ m}$ の範囲で標準偏差がやや高くなっているが, これは汀線

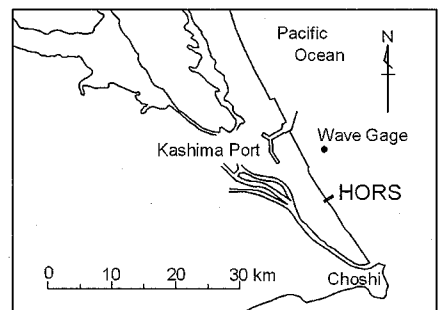


図-1 波崎海洋研究施設(HORS)の位置

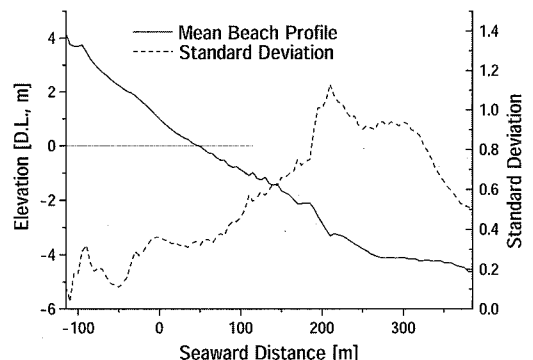


図-2 解析期間中の平均地形断面(D.L.基準)およびその標準偏差

1 正会員 工(博) (独)港湾空港技術研究所 海洋・水工部 漂砂研究室 研究官

2 正会員 工(博) (独)港湾空港技術研究所 海洋・水工部 漂砂研究室長

付近においてバームの形成、消失が起っているためである。また、 $x=200$ m 辺りを中心とした高い標準偏差は、バーの移動に伴う地形変化の影響である。

汀線位置は、沖の天文潮位の平均値 (D.L.+0.70 m) に汀線付近における水位上昇量の平均値 (D.L.+0.30 m) を加えた D.L.+1.00 m の地盤高を有する地点と定義した。汀線付近における水位上昇量は、柳嶋ら (1988) が対象海岸において計測された地形断面および沖波波浪観測の結果から提案した、沖波のエネルギーフラックスを用いた算定式より求めた。

3. 汀線位置の変動特性

15 年間分の汀線位置の季節変動を重ね合わせたものを図-3 に示す。細線はそれぞれ各年の変動を示し、太線はその平均値である。

汀線が変動する岸沖方向位置は年毎にばらついており、その差は最大約 40 m である。しかしながら、汀線位置の季節変動は概ね同一の傾向を示していることがわかる。

1 月~2 月にかけての汀線位置は、各年により沖側または岸側への変動が見られるけれども、その平均値に着目するとその変動はほぼ一定である。2 月下旬から 4 月上旬にかけて見られる汀線位置の後退は、低気圧による高波浪が原因であると考えられる。4 月以後 8 月にかけて汀線位置は徐々に前進するけれども、8 月下旬から 9 月下旬にかけては大きく後退する。これは台風の来襲による高波浪が原因である。その後、12 月下旬にかけて汀線位置は僅かではあるが前進することがわかった。

次に、汀線位置の周期変動特性を把握するために 15 年間の汀線位置変動のパワースペクトルを算出した (図-4)。

汀線位置の変動は 6 ヶ月周期 (0.00549 cycle/day), 9 ヶ月周期 (0.00354 cycle/day), 1 年周期 (0.00275 cycle/day)

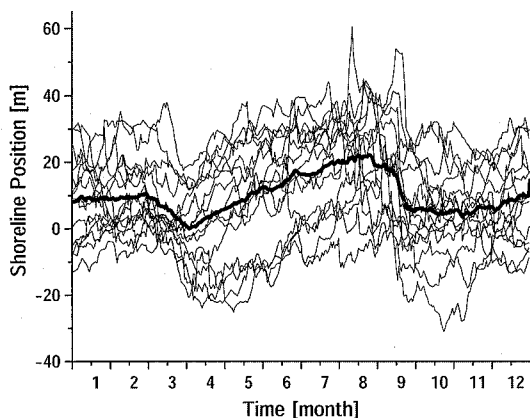


図-3 各年の汀線位置の季節変動 (細線) およびその平均季節変動 (太線)

cle/day) にピークを持つと共に、1,000 日以上 の長周期変動域においても大きなエネルギーを有していた。

続いて、汀線位置の長周期変動特性を検討するために、汀線位置変動の 1,000 日以上 の長周期成分を再合成すると共に、その変化量を求め、図-5 (b) に示した。図-5 (a) は 15 年間の汀線位置変動の生データである。汀線位置は 1994 年から 1997 年にかけて継続的に前進することにより、1995 年以後の汀線位置は 1995 年以前のそれに比べて 20 m 程度前進している。汀線変化量は汀線位置の変動と共に周期的に変動しているけれども、汀線位置が大幅に前進した 1995 年から 1997 年にかけては常に正の値を示している。

図-6 に 1995 年以前と以後それぞれの期間の汀線位置変動から算出したパワースペクトルを示す。汀線位置の変動は、1995 年を境にその周期特性は異なっていた。1,000 日以上 の長周期変動に着目すると、1995 年以前で

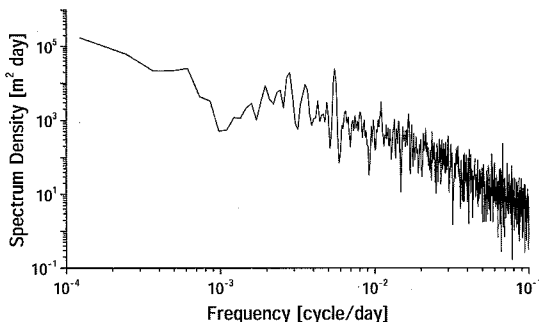


図-4 汀線位置変動のパワースペクトル

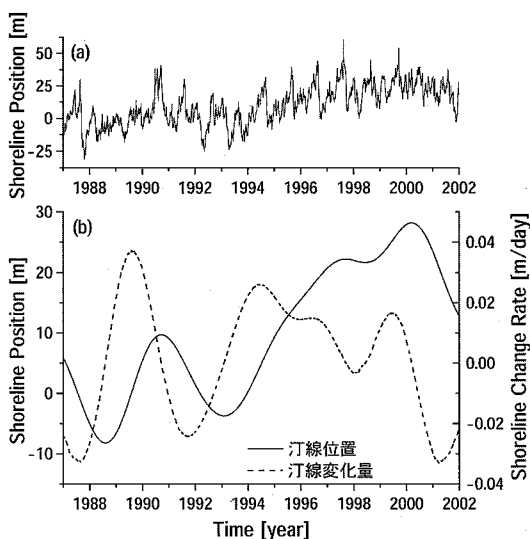


図-5 (a) 汀線位置変動の生データと (b) 1,000 日以上 の長周期成分を再合成した汀線位置変動とその変化量

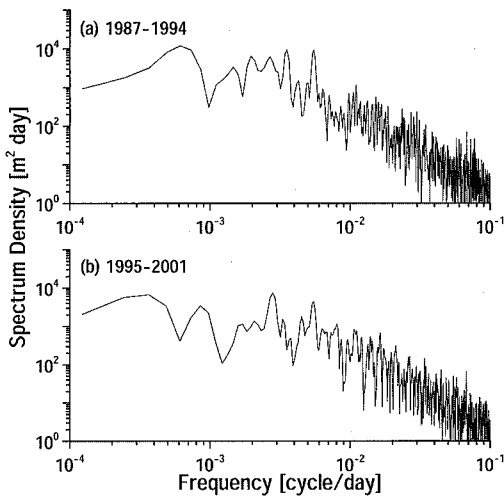


図-6 汀線位置変動のパワースペクトル, (a) 1987年～1994年, (b) 1995年～2001年

は4.5年周期(0.0006104 cycle/day)の変動が卓越していたのに対して, 1995年以後は3.2年周期(0.0008545 cycle/day)と7.5年周期(0.0003662 cycle/day)の変動が卓越していた。

4. 汀線位置と沖波波浪の関係

汀線位置の変動には波によるエネルギーが大きな影響を与えていると考えられる。そこで, 汀線の長周期変動の変化量と沖波エネルギーフラックスの長周期変動との関係について検討を行った。

沖波のエネルギーフラックスは, 鹿島港沖にて観測された2時間毎の沖波有義波高および有義波周期を算術平均して得られた値を基に1日毎の値を算出した。さらに, 橋本ら(1999)の波浪推算法を用いて算出した波向から, 沖波エネルギーフラックスを岸沖方向成分(以下, Ef_x : 沖からの入射を正)と沿岸方向成分(以下, Ef_y : 北からの入射を正)とに分離した。ただし, 計測器の故障などによる欠測期間の沖波波高および沖波周期は, 橋本ら(1999)の波浪推算法によって求めたものを使用した。

(1) エネルギーフラックスの変動特性

まず, 沖波エネルギーフラックスの変動特性について検討を行った。図-7に各年の Ef_x および Ef_y の年累積エネルギーフラックスを示す。 Ef は岸沖方向成分と沿岸方向成分とに分離する前の沖波エネルギーフラックスである。対象海岸において Ef_x は Ef とほぼ同一の変動を示し, そのエネルギーフラックスは Ef の約9割であった。汀線が大きく前進した1994年から1997年にかけては, それ以前に比べてエネルギーフラックスは減少し

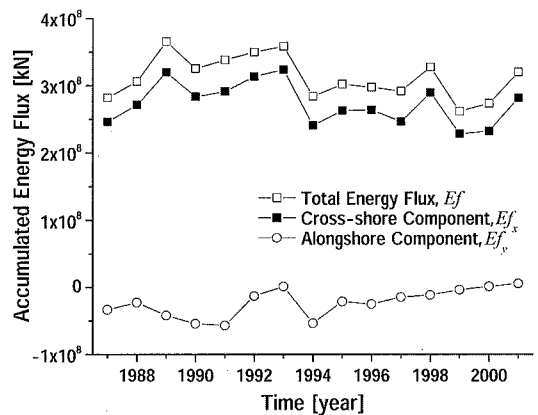


図-7 各年の岸沖方向成分(Ef_x : 沖からの入射を正)および沿岸方向成分(Ef_y : 北からの入射を正)の年累積エネルギーフラックス。

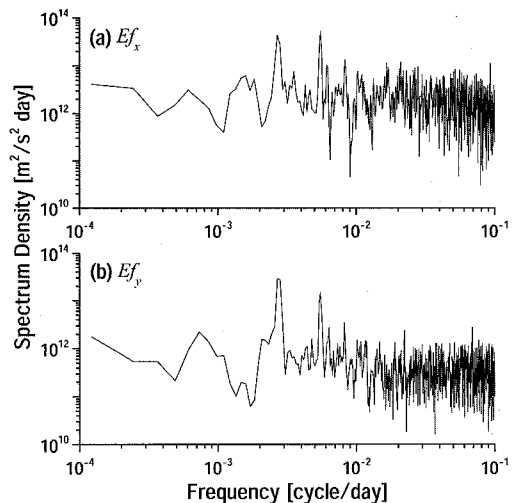


図-8 エネルギーフラックスのパワースペクトル (a) 岸沖方向成分(Ef_x), (b) 沿岸方向成分(Ef_y)

ていた。 Ef_y に関しては, 1995年以前は南からの入射によるフラックス($Ef_y < 0.0$)が支配的であったが, 1995年以後はその傾向が弱まり2000年, 2001年は若干ではあるが累積エネルギーフラックスは逆向き($Ef_y > 0.0$)となった。

ここで, 各方向成分のエネルギーフラックスの変動からパワースペクトルを算出した。図-8(a), (b)にそれぞれ Ef_x および Ef_y の結果を示す。 Ef_x , Ef_y 共に6ヶ月周期(0.00549 cycle/day)と1年周期(0.00269 cycle/day)にピークを有していた。しかし, 500日周期(0.002 cycle/day)から1,000日周期(0.001 cycle/day)の範囲において, Ef_x はピークを有しているけれども, Ef_y は逆にほとんどエネルギーを有しておらず, そ

の変動は大きく異なっていた。1,000 日以上の長周期変動域に関しては 6ヶ月周期や 1 年周期ほどではないけれども、両者共にピークを持つ周期変動を有していた。

(2) 汀線変化量とエネルギーフラックスの長周期変動

続いて、汀線位置の長周期変動の変化量とエネルギーフラックスの長周期変動との関係を検討した。図-9 に 1,000 日以上 of 長周期成分を再合成した汀線位置の変化量、 E_{fx} および E_{fy} の変動を示す。汀線変化量の y 軸は図左側に、 E_{fx} および E_{fy} のそれは図右側に設定している。

E_{fx} は解析期間を通して周期的に変動しながらも、1995 年以後のエネルギーフラックスは以前のそれに比べてやや減少している。一方、 E_{fy} は周期的に変動しながら南からの入射 ($E_{fy} < 0.0$) から北からの入射 ($E_{fy} > 0.0$) へと徐々に変化していた。

図-10、11 に 1,000 日以上 of 長周期成分を再合成した、 E_{fx} および E_{fy} と汀線の変化量の関係を示す。図中の点は 6ヶ月間隔のデータである。沖波エネルギーフラックスとはほぼ同一の変動をしている E_{fx} と汀線変化量との間には逆相関、すなわち、 E_{fx} が大きくなるほど汀線が後退する関係が見られた (図-10、汀線変化量 $= -1.09 \cdot 10^{-8} \times E_{fx} + 0.0913$, $R = -0.5294$)。

加藤ら (1987) は対象海岸において得られた地形断面から求めた汀線位置と沖波エネルギーフラックスとの関係を検討し、短期的な汀線位置の変動は沖波エネルギーフラックスによって評価できると報告している。この加藤らの結果も踏まえると、沖波エネルギーフラックスの約 90 % を占める E_{fx} は、短期的な汀線変動だけではなく、数年周期以上の長期的な汀線変動にも影響を与えていることがわかった。

一方、沖波エネルギーフラックスの 10 % 程度を占める E_{fy} と汀線変化量との間には相関はほとんど見られなかった (図-11, $R = -0.0994$)。

5. ま と め

波崎海洋観測施設において 15 年間にわたり休日を除く 1 日 1 回計測された地形断面データおよび鹿島港沖にて観測された沖波波浪データを用いて、汀線位置の変動特性および汀線位置変動と沖波のエネルギーフラックスとの関係を検討したところ、以下のことが明らかとなった。

(1) 解析を行った 15 年間の汀線位置の季節変動は概ね同一の傾向を示しており、3 月および 8 月下旬から 9 月にかけて汀線位置は後退し、それ以外では一定もしくは前進していた。

(2) 汀線位置の変動は 6ヶ月周期、9ヶ月周期、1 年周期が卓越すると共に、1,000 日以上 of 長周期域においても

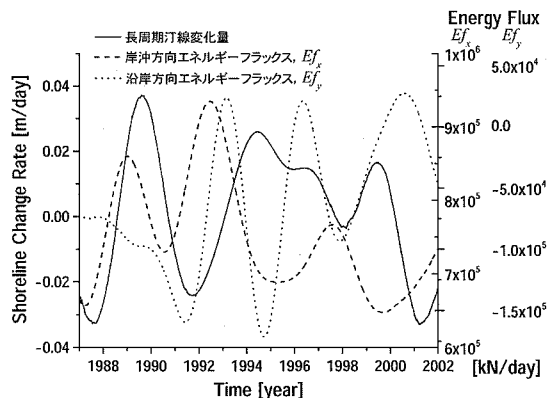


図-9 1,000 日以上 of 長周期成分を再合成した汀線の変化量、岸沖方向エネルギーフラックス (E_{fx}) および沿岸方向エネルギーフラックス (E_{fy})

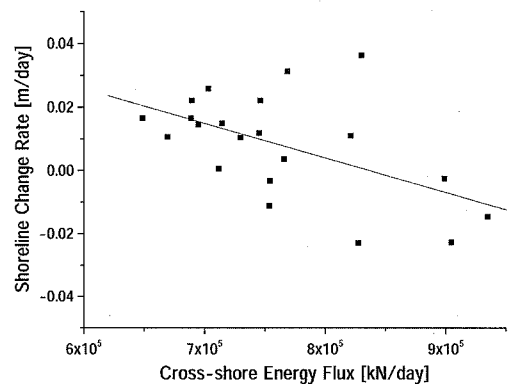


図-10 1,000 日以上 of 長周期成分を再合成した、岸沖方向エネルギーフラックス (E_{fx}) と汀線変化量との関係

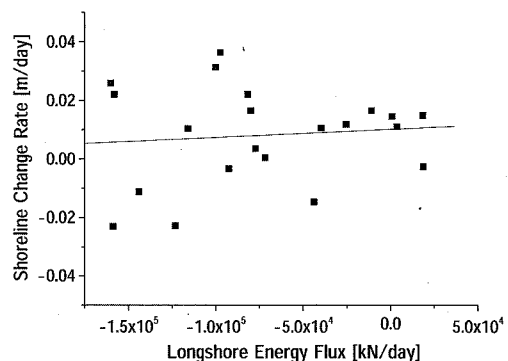


図-11 1,000 日以上 of 長周期成分を再合成した、沿岸方向エネルギーフラックス (E_{fy}) と汀線変化量との関係

大きなエネルギーを有していた。

(3)汀線位置は、1994年から1997年にかけて大幅に前進していた。さらに、1995年以前には4.5年周期の変動が卓越していたのに対し、1995年以後は3.2年および7.5年周期の変動が卓越していた。

(4)エネルギーフラックスの変動は、岸沖・沿岸方向成分共に6ヶ月周期と1年周期が卓越すると共に、1,000日以上の中長期変動域においても共にピークを持つ周期変動を有していた。ただし、500日から1,000日周期において、岸沖方向成分はピークを有していたけれども沿岸方向成分はほとんどエネルギーを有していなかった。

(5)汀線位置の長周期変動の変化量は、沖波エネルギーフラックスの約9割を占める岸沖方向成分の長周期変動とは相関が見られたが、約1割を占める沿岸方向成分のそれとは相関はなかった。

謝辞：本研究で利用した地形断面データは波崎海洋研究施設の観測スタッフによって取得されたものである。ま

た、沖波波浪データは国土交通省関東地方整備局鹿島港湾・空港整備事務所と独立行政法人港湾空港技術研究所海象情報研究室より提供されたものである。さらに、本研究室柳嶋慎一主任研究官ならびに㈱ブライア・コンサルタントの坂本光観測補助員とは本研究を進めるにあたって有益な議論を行った。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 加藤一正・柳嶋慎一・村上裕幸・末次宏児(1987)：短期汀線変動のモデル化の試み，第34回海岸工学講演会論文集，pp. 297-301。
- 砂村継夫(1980)：自然海浜における汀線位置の時間的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。
- 橋本典明・川口浩二・真期俊行・永井紀彦(1999)：第3世代波浪推算法(WAM)の推算精度に関する検討，港湾技術研究所報告，第38巻，第4号，pp. 3-47。
- 柳嶋慎一・加藤一正・磯上知良・村上裕幸(1988)：波による汀線付近の水位上昇量に関する現地調査，第35回海岸工学講演会論文集，pp. 23-127。