

大潟海岸における海浜断面形状の長期変化について

土屋義人*・白井 亨**・山下隆男***

1. 緒 言

現地海岸における海浜の変動の実態を知ることは、海浜変形の予測、漂砂現象の究明に極めて有効である。そのためのひとつの方法として、リモートセンシング、深淺測量、汀線測量を定期的に長期間実施できればよいが、現地海岸においては気象海象条件によって、それらの実施には大きな制約があり、必ずしも容易ではない。この点において、試験突堤周辺の海底地形測量や、長大棧橋に沿った深淺測量の結果は、現地海岸の海浜変動特性を知るうえで貴重な情報を提供してくれるものと考えられ、これまでも興味深い成果が報告されている^{1),2)}。

本研究は、京都大学防災研究所附属大潟波浪観測所の波浪観測棧橋（帝国石油 K.K. 所有）に沿う深淺測量の結果について、大潟海岸の海浜断面形状の長期変化の特性を検討するものである。

2. 海浜断面形状の変形特性

大潟波浪観測所では、1973年1月から波浪観測棧橋（全長約 315m）に沿う 154 点において、レッドによる深淺測量を週 1 回実施してきており、その結果は京都大学防災研究所附属防災科学資料センター（富士通 M-150F）および宇治川水理実験所計算機システム（NEC MS-190）の数値データベースとしてデータセット化されている。ここでは、データセット化の完了している 1981年3月までのデータに基づいて、海浜断面形状の変化を検討する。

図-1 は、月平均した海底断面形状の時間的な変化を示したもので、横軸に波浪観測棧橋の基部からの距離、縦軸に平均海面からの水深を示し、 $x-t$ 平面上で等水深線で表示したものである。図中、0m の等水深線が汀線を示す。図から明らかなように、1973年1月以後、汀

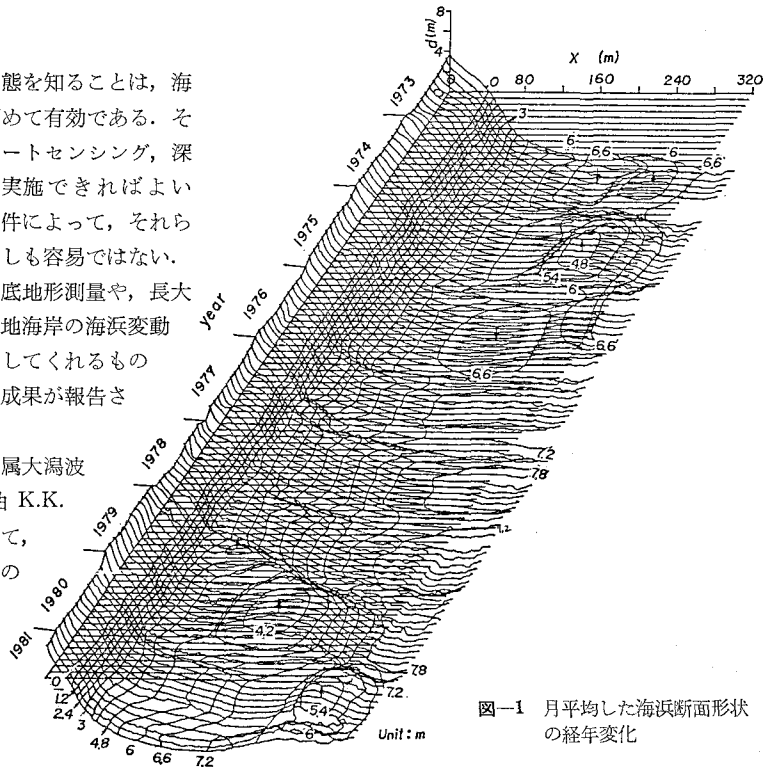


図-1 月平均した海浜断面形状の経年変化

線は後退しつつづけており、1981年3月までの間に、2度の大きな海底地形変化が生じている。すなわち、1974年の冬期に生じた変動および 1979 年の変動である。図-1 に示したデータは棧橋沿いの一測線のもので、図中に現われている bar や dip の移動方向は判別できないが、この図から判断される海浜断面形状の変動特性は、以下のように要約される。

(1) 冬季節風時（11月～3月）に海浜断面の顕著な変化が生じ、それに伴って汀線が後退し、夏期には step 状の海浜断面となって汀線が前進するようになるサイクルが、海浜断面形状の変化の安定な 1976～1978 年において観測される。

(2) しかしながら、1974 年および 1979 年以後の顕著な海浜断面形状の生じた場合の変化特性は、冬期の bar の沖方向への移動によって代表され、移動後は水深が深

* 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所

** 正会員 理博 京都大学助教授 防災研究所

*** 正会員 工修 京都大学助手 防災研究所

くなり、夏期に回復する傾向はほとんどみられない。

(3) 以上のことから、数年～数十年のオーダーでみた大渦海岸の海浜断面形状の変化特性は、カタストロフィックな変形が支配的であるといえよう。

3. 大渦海岸の平面的な変動特性

ここでは、波浪観測棧橋周辺の深浅測量結果および、空中写真から求めた大渦海岸の汀線変化図に基づいて、大渦海岸の平面的な変動特性について言及しておく。

図-2 は 1967, 1969, 1972 および 1979 年の 7 月に実

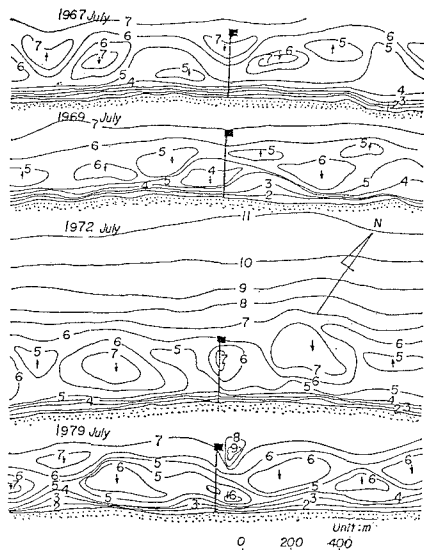


図-2 波浪観測棧橋周辺の海底地形の変化

施した棧橋周辺の深浅測量の結果であり、この図から判断しても、1972 年以降 shoal の領域が少なく、dip が増えている様子がわかって。特に、1972 年および 1979 年の図からは、棧橋先端の dip が沖方向に移動し、1979 年には棧橋中央部に浅い領域に生じていることがわかる。これは、図-1 を参考にすれば、1972 年に棧橋西側に存在していた shoal が東側へ移動した (1974 後) 年に生じたもので、図-1 からは、1975～1978 年においては顕著な海浜断面形状変化が存在していないことから、前浜が侵食されて形成されたものであると考えられる。

図-3 は大渦海岸全域の汀線変化を、空中写真から読

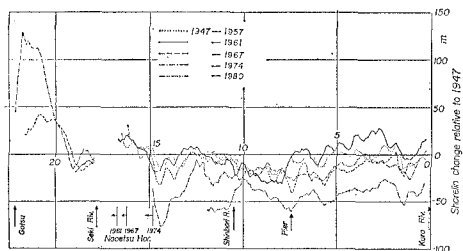


図-3 大渦海岸の汀線変化

み取ったもので、精度的には厳密な議論はできないが、1974 年以後大渦海岸全域で汀線の後退が顕著になっていることがわかる。一方、1970 年から 1978 年にかけては、棧橋周辺の全域に消波ブロックが設置され、棧橋の位置では 1974 年に設置されている。

4. 汀線、海浜勾配および土量変化の特性

一般に、汀線変化量と前浜の海浜勾配とは密接な関係があり、汀線の後退に伴って海浜勾配が急になることが知られている。ここでは、図-1 に示した棧橋沿いの海浜断面形状の月平均値を用いて、平均海面上の浜勾配 i_b および平均海面から 3m までの平均の海浜勾配 i_s を最小自乗法によって定義し、これらと棧橋のつけ根からの汀線距離 y_0 との関係を図-4 に示す。図中、各値

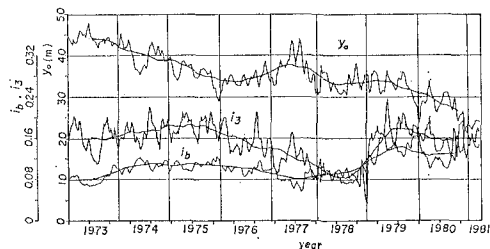


図-4 前浜勾配および汀線の時間的変化

の平滑曲線は 1 年の移動平均値を示す。この図から明らかのように、 y_0 と i_b との関係は、月平均値および年平均値のどちらに対しても、明確な逆相関が存在しているようであるが、 i_s の月平均値には、逆に汀線が前進すれば海浜勾配が急になる傾向が認められる。しかしながら、消波ブロックが設置されていない 1973 年についてみると、 y_0 と i_s との間には逆の相関があるようで、この年を境界として i_s の変化特性が変わってきたことも考えられ、消波ブロックの設置に伴う波浪・底質特性の変化とを考慮して検討する必要がある。

図-5 は、 i_b と y_0 および i_s と y_0 の年平均値の履歴を示すもので、 i_b と y_0 の関係には海浜のカタストロフィックな変形期および安定期においても y_0 と i_b はほぼ比例して変化しているが、 i_s と y_0 では海浜の安定期の継続期間が増加するに

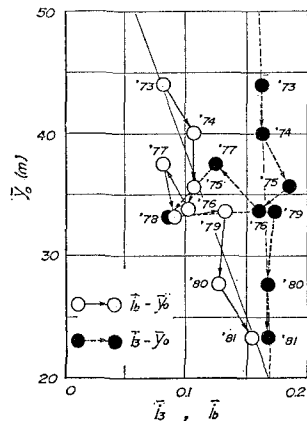


図-5 前浜勾配と汀線変化量との関係

つれて i_b と y_0 の関係に近づくと、一旦海浜の急激な変形が生ずると、 $i_b = \text{const.}$ となることがわかる。また、 i_b と y_0 の関係においても、汀線の後退に伴って $i_b = i_s = \text{const.}$ の関係に漸近していく傾向がある。

次に、冬期ストームの来襲によって海浜の土砂がどのように移動しているかを調べるために、7月から翌年の6月までのデータの年平均海浜断面形状を定義し、全データの平均値とを比較を行ったものが図-6である。図中、斜線部は平均値を基準とした場合の堆積箇所、空白部は侵食箇所とみなすことができる。この図から明らかに、土砂は沖方向へ一方的に流出しており、その供給源は前浜の底質であり、長期的にみて底質の岸方向への移動は認められない。

図-6 冷期ストームに伴う侵食・堆積箇所の変化

と平均海面上の土量 Q_{aqu} の変化を示すもので、1978年～1979年には若干の増加がみられるが、全体的に減少傾向にあることがわかる。このことから判断して、1979年の海浜の変動期には、桟橋側方からの土砂供給が bar の移動の形で生じているものと考えられる。

以上のことから、大湊海岸における1973年1月から1981年3月までの海浜断面形状に基づいて考慮される海浜の変動特性は、以下のように要約される。

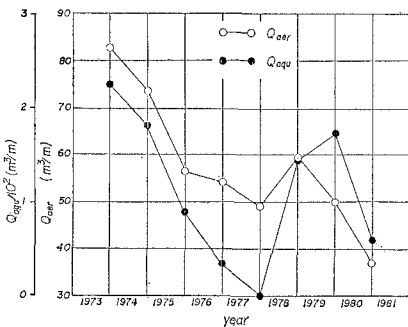


図-7 土量の経年変化

(1) 長期的にみて、海浜はカタストロフィックな変動によって、その断面形状特性が大きく支配され、これに季節変動が付随するような変形過程である。

(2) 海浜断面形状から判断される底質の移動方向は全て沖方向であり、その供給源は前浜で、このような変動特性は消波ブロックの設置と無関係ではない。

(3) 平均海面上の浜勾配と汀線変化との明確な負の相関が認められ、平均海面から水深 3m までの海浜勾配は、海浜変形の安定期に緩やかになり、変動期にはほぼ一定の値を有する。

5. 経験固有関数による解析

海浜断面形状特性を解析的に取り扱う手法として、Winant ら³⁾の提案した経験固有関数 (Empirical Eigen-

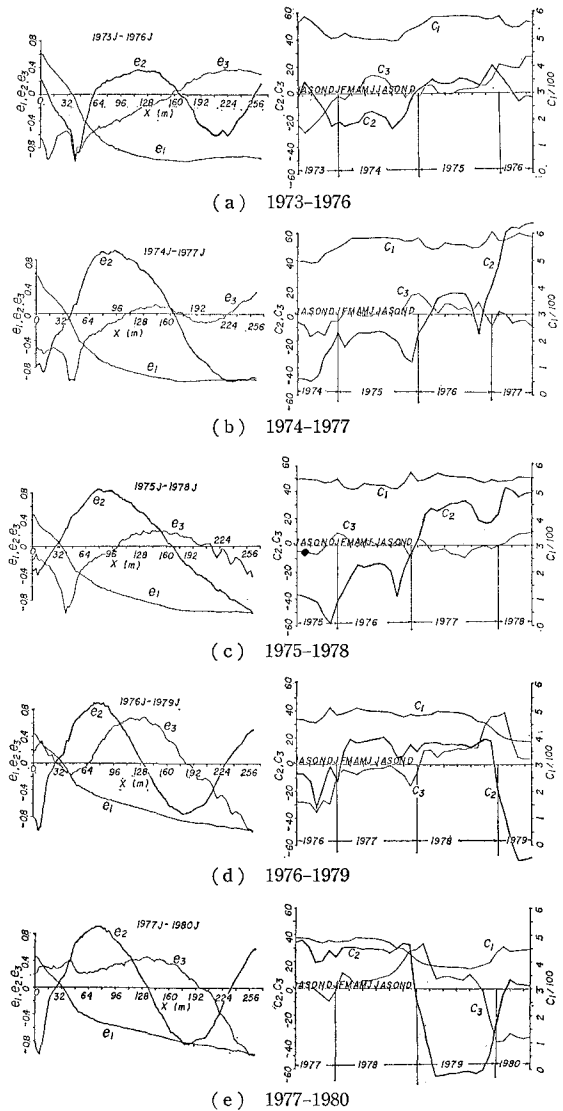


図-8 経験固有関数による解析結果

function) に基づく方法や、波浪特性が明確にされている場合には Swart⁴⁾ による平衡海浜断面の定式 (D-profile) 化手法などが挙げられるが、ここでは前述したように海浜変形がカタストロフィックに生じるような海浜において、経験固有関数による解析手法を適用する場合の問題点について言及する。

解析には月平均した海浜断面形状を用い、Winant に従って以下のように時間と空間の関係に分離する。

$$h_{xt} = \sum C_{nt} e_{nx} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 h_{xt} : 海浜断面形状、添字 x は $1 \sim n_x$, t は $1 \sim n_t$ の範囲で変化し、 $n_x=154$, $n_t=31$ であり、 e_{nx} は直交性を有する。

$$\sum e_{mx} e_{nx} = \delta_{mn} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 δ_{mn} は Kronecker のデルタである。以上の関係から、固有関数 e_{nx} を求めるためには、

$$a_{ij} = \frac{1}{n_x n_t} \sum_{t=1}^{n_t} h_{it} h_{jt} \quad \dots\dots\dots (3)$$

の要素をもつ対称行列 A を定式化し、次式で示される 3 固有方程式から、固有値 λ_{nx} を求めればよい。

$$A e_{nx} = \lambda_{nx} e_{nx} \quad \dots\dots\dots (4)$$

e_{nx} が決定されれば、同様の手法で C_{nt} も求めることができる。宇多ら⁵⁾ は、 C_{nt} を時間だけの関数とせず沿岸方向距離の関数として、 e_{nx} を時間と離岸方向距離の関数と定義することで、海浜変形モデルとしてこの手法を拡張しているが、現象が時空間的に急変するような場合(海浜変形においてはしばしばみられる現象)には後述するような注意が必要である。

図-8 は 7 月から翌年 6 月までを 1 年間とした場合の 3 年間の月平均データによる経験固有関数および時間係数の解析結果である。経験固有関数による第 1 因子は海浜断面形状の平均値、第 2 因子は bar-berm、第 3 因子は step, terrace の生じている箇所を示し、それらに対応する係数はその時間変化を示すものであり、図-8 (a)~(c) からは、1974 年に $x \approx 220$ m に存在していた bar が沖方向に移動している点、および明確な季節変化が現われている点が定量化されていることがわかる。また、1978 年 12 月~翌 3 月にかけて生じたカタストロフィックな海浜変形を含む (d), (e) においては、第 1~3 因子の全ての関数および係数に急激な変化がみられ、特に 1979 年に $x=180$ m 付近に大きな bar 型地形が生じていたこと、それに伴って $x > 190$ m の領域に存在していた terrace 型地形が変形している点が定量化されている。このように、経験固有関数を用いて海浜断面形状の変形特性を数量化することは、宇多らの示した経験的海浜変形モデルのように、現地データ

との対応において因子の評価を行えば有効な手法として利用できよう。しかしながら、ここで注意しておかなければならない点は、時間的あるいは汀線方向の解析範囲の設定方法によって分析結果に大きな相違が生じる可能性があるため、データの与え方、取り方によって一般性を失う恐れがある点で、特に急激な海浜断面形状の存在するデータを用いる場合には以下に示すような不都合を生じることがある。

図-1 に示した海浜断面形状の変化において、1978~1979 年の急激な海浜変形が固有関数および係数にどのような影響を及ぼすかを検討してみよう。まず、1975 年 7 月から 1978 年 6 月までのデータと 1976 年 1 月から 1978 年 12 月までのものを用いた解析を 図-9 (a) に示す。この期間は顕著な bar の存在がなく、1978 年 11~12 月に $x \approx 80$ m に bar 型地形が現われており、それ以前には、図中の実線で示した C_2 にみられるように bar 型地形の特性が弱まっている傾向にある。このような場合、解析範囲内のある時期に bar 型地形が発生した場合、破線で示す C_2 のように実線のそれとは逆の傾向となり、このような terrace 型地形の強い場での第 2 因子は bar 型の変形に対して極めて鋭敏に変化するため、この因子による定量化には問題がある。次に、1979 年の顕著な bar 型地形を一部含む場合と全部含む場合とでは、図-9 (b) に示すように第 3 因子に強い影響が生じる。しかしながら、図-9 (c) に示すように、顕著な bar 型地形を全て含むような解析範囲の設定を行うと、第 1~

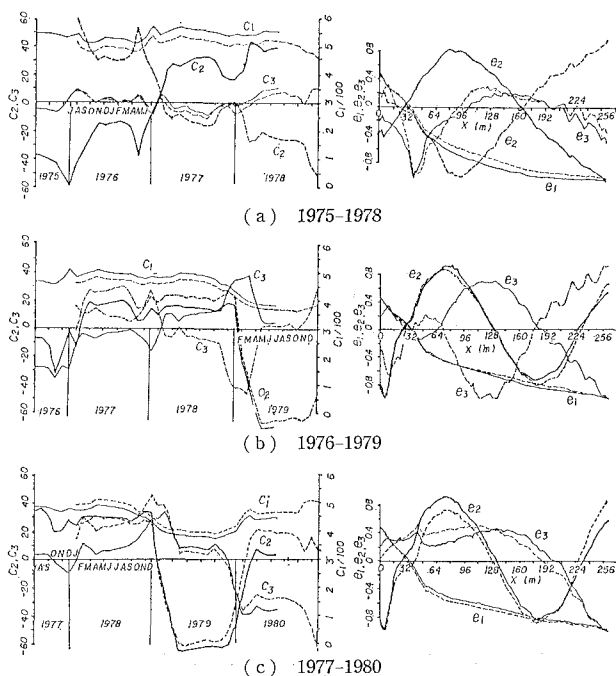


図-9 解析範囲の相違による経験固有関数の相違

第3因子全てについてはほぼ同様な定量化を与え、前述したような不都合は生じない。

以上のように、顕著な海底地形の生じているデータに経験固有関数による解析手法を適用する場合には、解析範囲によって分析結果が大きく相違する点を、この手法の適用に当たって考慮しておかなければならないことがわかる。

6. 結 語

以上、大潟海岸において長大棧橋に沿う長期間、1週間のサンプリング間隔で実測された海浜断面形状を用いて、その変化特性を検討し、経験固有関数による解析を行った結果、得られた成果は次のようである。

(1) 大潟海岸においては顕著な海浜の変動はカストロフィックに生じ、冬期季節風時を主体とした季節変動によって底質が沖方向に流出する。

(2) 平均海面上の浜勾配は汀線変化との明確な負の相関が認められ、平均海面下水深 3 m までの海浜勾配は、海浜の変動期には急になり、安定期には緩やかになる傾向がある。

(3) 経験固有関数による海浜断面形状の解析に当たっては解析範囲により異なる解が得られる場合があるため、大規模に海浜が変化するデータについては、それを全て含むよう留意する必要がある。

なお、棧橋に沿う海浜断面形状の計測に当たり、1973年3月1日から今日まで、欠測の無い深浅測量を熱心の実施して下さっている京都大学防災研究所附属大潟波浪観測所内山清技官に深謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 橋本 宏・宇多高明：経験的固有関数による海浜地形の変化の解析，土木学会論文報告集，第305号，pp. 59~72，1981.
- 2) Shore Protection Manual, Vol. II, U.S. Army Corps Engrs. Coastal Eng. Res. Center, 1977.
- 3) Winant, C. D., D. L. Inman and C. E. Nordstorm: Discription of seasonal changes using empirical eigenfunctions, Jour. Geophys. Res., Vol. 80, No. 5, pp. 1979~1986, 1975.
- 4) Swart, D. H.: A schematization of onshore-offshore transport, Proc. 14th Conf. on Coastal Eng., ASCE, pp. 884~900, 1974.
- 5) 宇多高明：海浜流，漂砂および海浜変形に関する研究，東京工業大学学位論文，1982.