

経験的海岸変形モデルによる構造物周辺の地形変化予測

橋本 宏*・宇多高明**・竹 淵***

1. ま え が き

海岸変形予測の問題は海岸工学上最も重要な問題の一つであり、近年精力的な研究が進められ、いくつかの予測モデルが提案されている。これらのうちで実用的なものとしては、Pernard-Considère によって開発された汀線変化モデルがあり、著者らの1人¹⁾はこの方法を用いて富士海岸における汀線変化の予測を行い、またその後種々の海岸にも適用²⁾されている。しかしこの方法では海岸の断面形状の変化予測はできないという欠点を有している。

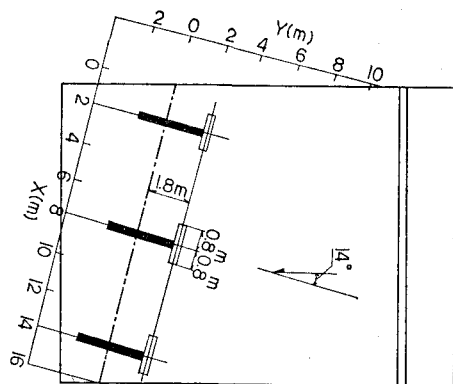
一方、海岸断面の変化特性については Winant ら³⁾が経験的固有関数展開法を提案したが、著者らはこの手法を応用し現地海岸および模型実験における構造物周辺の海岸変化特性を検討しその有効性を明らかにした。

本論文では汀線変化モデルと経験的固有関数展開を組合せて海岸変形を予測するモデル（経験的海岸変形モデルと呼ぶ）を提案し、その妥当性について突堤、離岸堤、T字型突堤を用いた移動床模型実験によって検討した結果を報告する。

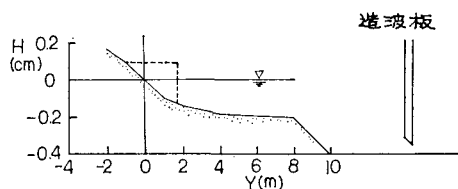
2. 実験方法

海岸に造られる構造物としては突堤、離岸堤、T字型突堤が代表的なものと考えられるので、これらに関する実験を行なった。実験は図-1に示すような幅 16 m、長さ 21 m、高さ 0.8 m の平面水槽で行なった。海岸断面形状は図-1に示すものとし、中央粒径 0.27 mm の砂で海岸を製作した。構造物の配置としては図-1に示すものとし、突堤（ケース 1）、離岸堤（ケース 2）、T字型突堤（ケース 3）をそれぞれ3基設置した。構造としては突堤は不透透とし、離岸堤は4号砕石上に 200 g のテトラポッドを三層に積んだ。

実験は図-1に示した初期海岸に構造物を設置し、初期形状の測定を行ない、その後波を 20 時間作用させた。海岸の測定は波を 10 時間および 20 時間作用させた後



平面図



断面図

図-1 模型配置図

に、沿岸方向 0.5 m 間隔、岸沖方向 0.1 m 間隔で行なった。また汀線の位置については 2 時間間隔で測定した。

波浪等の測定については入射波高、砕波点での波高と波向、流況の測定を行なった。波高は容量式波高計を用い、入射波高は初期汀線より 7.5 m 沖合の水深 20 cm の位置に 2 台の波高計を設置して測定した。砕波波高は沿岸方向に 0.5 m 間隔で実験開始後および終了前に測定した。流況については約 5 m の高さにクレーンで吊ったカメラを用いてフロートの移動状況を撮影し求めた。また同時に砕波点での波向も写真より測定した。

実験条件としては沿岸漂砂の卓越する状況での海岸変形を調べることを目的とし 14° の角度をもって入射する条件で実験を行なった。波高および周期については与えられた初期海岸形状で岸・沖方向の変化が生じないう

* 正会員 建設省土木研究所 海岸研究室長
 ** 正会員 工修 建設省土木研究所 海岸研究室主任研究員
 *** 正会員 建設省土木研究所 海岸研究室

な条件とし、入射波高約 6 cm, 周期 1.2 sec とした。なお入射波高の平均値はケース 1 で 5.8 cm, ケース 2 で 6.1 cm, ケース 3 で 5.4 cm であった。

3. 実験結果

碎波波高 H_b と碎波点における波向 θ の測定結果を図-2 から 図-4 に示す。突堤が設けられたケース 1 に

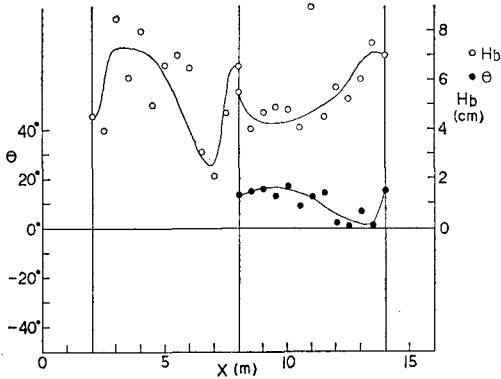


図-2 碎波波高と波向の沿岸方向分布 (ケース 1)

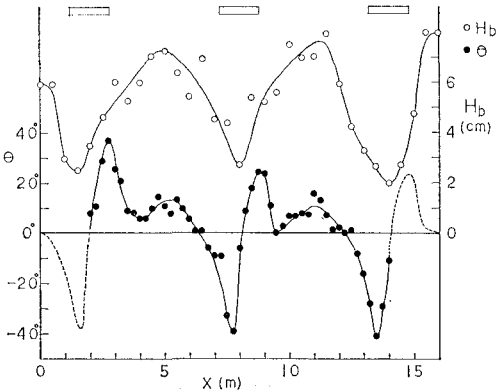


図-3 碎波波高と波向の沿岸方向分布 (ケース 2)

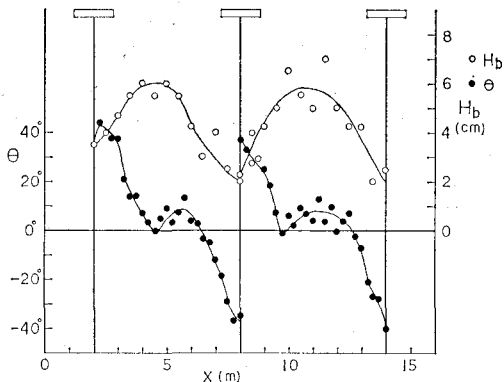


図-4 碎波波高と波向の沿岸方向分布 (ケース 3)

ついては碎波波高はばらついており、また右と左で異なっている。突堤を設けた場合中央の突堤に沿って図の右側で冲向きの流れが生じたために碎波波高の変化が生じたと考えられる。左側では突堤の波の入射方向に対して陰になる場所では波高が小さくなっている。波向については突堤の陰では汀線に直角に入射し、他の場所では突堤の影響を受けていない。離岸堤の設けられたケース 2 については 図-3 に示すように開口部では大きく、離岸堤の背後では開口部での波高の約 1/4 に低下している。波向については離岸堤の背後に向う回折波が生じるために波向の符号が変化している。T 字型突堤を設けた場合には横堤として離岸堤と同じ構造を用いているために波高および波向の分布は 図-4 に示すように離岸堤のみの場合とほぼ同様の傾向を示している。これらの図の実線はばらついている測定値のほぼ平均値と考える値を示したもので後で述べる海岸変形計算に使用した値である。

流況についてはフロートによって測定を行なったが、突堤が設けられているケース 1 においては中央の突堤の一方で沿岸流が阻止されるために強い冲向きの流れが生じていた。その流れは突堤先端を越えて沿岸方向に向う傾向を示した。さらに沿岸流の下手となる突堤については冲向きの流れは著しくなく、また沿岸流も小さい。これはこの間の波向が測定されていないためにあまり明確ではないが中央の突堤による離岸流によって波向が汀線に直角になる傾向を示したためと考えられる。突堤先端より沖の波峰線は他の突堤間の波峰線に比較して汀線に平行になっている。

離岸堤が設けられたケース 2 については開口部での循環流と全体を沿岸方向に流れる 2 種類の流れが存在していた。沿岸流は地形の影響によって蛇行する傾向を示す。ケース 3 の場合には波浪の変化がケース 2 とほぼ同じであるために流況についてもケース 2 と同様に開口部において循環流を生じている。ただ縦堤によって沿岸流が阻止されるためにより強い循環流となっている。

海岸形状の変化についてはまず汀線の変化を図-5 に示す。この図では初期汀線に平行に x 軸をとり、それ

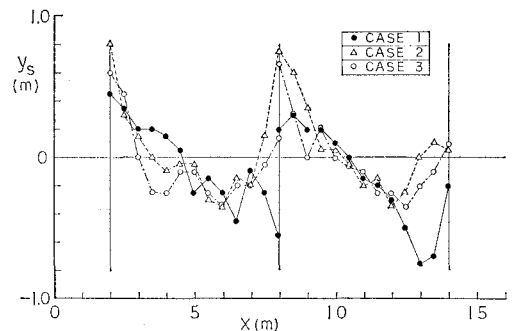


図-5 汀線変化量の比較

に直角に汀線変化量 y_s を測定した。突堤の設けられたケース1では突堤の下手側に大きな侵食を生じ、一方上手側では堆積し汀線はほぼ波向に直角に変化している。ケース2およびケース3では離岸堤背後にトンボロが形成されている。その大きさはケース2が幾分大きなものとなっている。また開口部では波向と直角に汀線が変化している。

横断形状の変化については、等高線または等深線の初期形状からの変化を調べてみると汀線を基準として地盤高 5 cm および -5 cm の点はほぼ汀線の前進、後退とともに同じ量だけ変化しており、汀線付近の海底勾配はほぼ一定値を保っている。ただ来襲波に対応した平衡勾配に比較すると初期海浜の勾配が少し緩いために陸上では前進、海中では後退という変形も一部含まれている。

4. 経験的海浜変形モデル

ここで提案する海浜変形モデルは漂砂量については沿岸漂砂量公式と連続の式をもとにし、海浜形状は実験や測量結果を解析して得られる経験的固有関数をもとに予測を行なうものである。具体的には次式で示される汀線変化モデルによってまず汀線 y_s の位置を計算し、次に汀線変化に対応した海浜形状を計算する。

$$\frac{\partial q}{\partial x} + h \frac{\partial y_s}{\partial t} = 0 \quad \cdots \cdots (1)$$

$$q = F \left(\tan \theta - \frac{\partial y_s}{\partial x} \right) \quad \cdots \cdots (2)$$

ここで x : 沿岸方向の座標, q : 沿岸漂砂量, h : 移動高さ, θ : x 軸と波峰線のなす角, t : 時間であり, F は次のように表わされる。

$$F = \frac{1}{8} w_b \cdot \alpha \cdot H_b^2 c_{gb} \quad \cdots \cdots (3)$$

ここで w_b : 海水の単位体積重量, H_b : 砕波波高, c_{gb} : 砕波点での群速度, α : サベージの係数である。

海浜の横断形状についてはその変化特性を固有関数展開によって経験的に求める。この場合、時間についての測定データが多ければ固有関数を時間と空間の関数に分けて展開する。また沿岸方向に自然条件が変わらなければ、固有関数を時間を固定して沿岸方向 x と岸・沖方向 y の関数に分けて展開を行なうことができる。ここでは後者の方法を用いた。初期形状と t_0 時間波を作用させた後の形状との差 $\Delta h(x, y, t_0)$ を次のように展開する。

$$\Delta h(x, y, t_0) = \sum_{k=1}^n c_k(x, t_0) \cdot e_k(y, t_0) \quad \cdots \cdots (4)$$

ここで e_k , c_k はそれぞれ岸沖方向、沿岸方向の固有関数である。

固有関数展開にもとづいて沿岸方向の漂砂によって生じた変形 e_1 , c_1 の関数形が求められると次のようにして

海浜変形を計算する。式 (1), (2) で求められた y_s は c_1 と対応しており、線形な関係にあるためにその値が決定され次式で断面形状変化が求まる。

$$\Delta h = c_1(x, t_0) \cdot e_1(y, t_0) \quad \cdots \cdots (5)$$

一方、式 (1) で $A = h \cdot y_s$ とおくとこの A と, e_1 を y 方向に積分した値にある係数をかけたものが一致するという条件から (5) 式と同様に断面形状変化を求めることもできる。

固有関数 e_1 は沿岸漂砂量の岸・沖方向分布から決まるものと考えられ固有関数展開を行なわなくてもその形状を推定できる可能性は有しているものの沿岸漂砂量の分布形状が確定していないために具体的な適用には問題がある。特に実験では汀線付近で沿岸漂砂量が最大となる場合があるが、このような分布形を表す漂砂量公式は現在のところ存在していない。

式 (1), (2), (5) による海浜変形の計算は海浜形状の変化によって波浪条件が変化し、また沿岸漂砂量も変わるために繰返し計算が必要になってくる。しかしここではこの考え方の妥当性を検討することに重点をおいて実験の結果と計算値の比較を行なった。

5. 海浜変形計算

構造物周辺の海浜変形を予測する場合に実験値にもとづいて解析を行なうと予測手法の妥当性を十分検討することが困難な場合もあるが、ここでは突堤についての実験結果を用い固有関数展開を行ない、離岸堤およびT字型突堤の実験結果について検証することとした。

ケース1について初期形状を基準として、波を 10 時間および 20 時間作用させた後の地形変化をもとに式 (4) によって固有関数を計算した。固有関数 e_1 の計算結果を図-6 に示すが初期の汀線付近 ($y=0$) で最大値をと

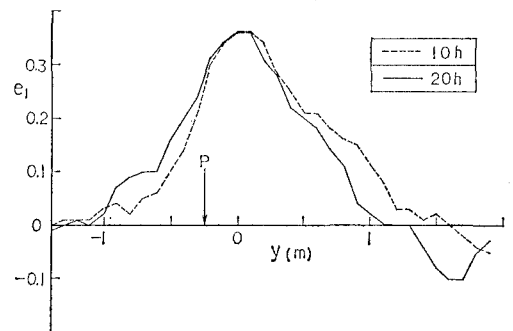


図-6 固有関数 e_1 の岸沖分布 (ケース 1)

りこれより岸および沖方向に単調に減少している。また e_1 の全変動量に対する割合は約 70% であった。また c_1 と y_s との関係については次式の関係が成立している。

$$c_1 = 0.4 y_s \quad \cdots \cdots (6)$$

図-6における原点は初期汀線としているが、20時間波を作用させた後には汀線が変化している。参考のために変化量で重みをつけた次式で表わされる20時間後の平均汀線位置 $\bar{y}_s$ を図-6にP点として示してある。

$$|\bar{y}_s| \cdot \bar{y}_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_{si}| \cdot y_{si} \quad \dots\dots\dots (7)$$

汀線変化の計算はケース2と3について式(1)と(2)を差分化して行なった。計算条件として碎波波高および波向については図-3と図-4に示す実験値を用い、 α および h には実験値にもとづいて $\alpha=0.217$, $h=14.4$ cm とした。また計算格子間隔は $\Delta x=0.25$ m, $\Delta t=15$ sec である。また碎波点の群速度は $H_b=0.7h_b$ から求まる碎波水深 h_b を用い、 $c_{gb}=\sqrt{gh_b}$ から求めた。

波を20時間作用した後の測定値と計算値の比較を図-7, 8に示す。太い実線で計算値を、丸印で測定値

後の予測は困難であったがこの結果によれば波浪条件が適確に与えられれば汀線変化モデルでも予測が可能と考えられる。

海浜形状の予測に関しては各時間変化ごとに関数 e_1 によって変形を求めるべきであるが、ここではこれを積分した形で考えた。すなわち20時間後の汀線形状をもとに断面変化量を計算した。この場合岸・沖方向の原点をどこにとるかということが問題となる。式(7)で求められる重み付きの汀線変化量を計算するとケース1では $\bar{y}_s=-25$ cm, ケース3の計算値による値は $\bar{y}_s=13$ cm となるために関数 e_1 を約40 cm 沖に移動した状態で断面形を求めた。ケース3について横堤の背後($x=8$ m)および開口部($x=12.5$ m)の位置における断面形状は図-9のようになる。一方は堆積、他方は侵食断面を示

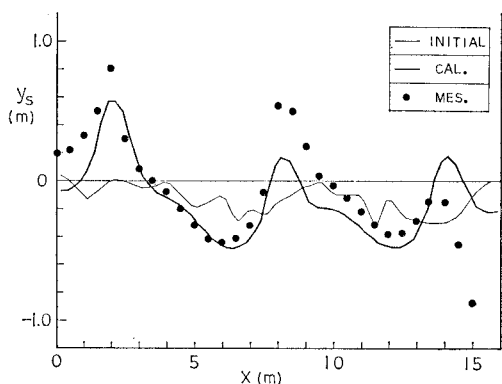


図-7 汀線変化の計算値と測定値の比較 (ケース2)

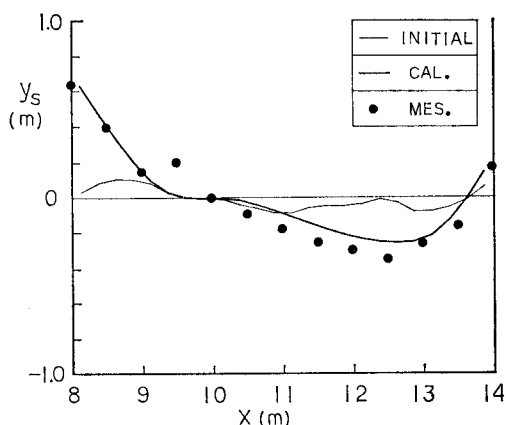


図-8 汀線変化の計算値と測定値の比較 (ケース3)

を示す。ケース2では中央部でほぼ一致しているが両端では差を生じている。またケース3では計算値と測定値は一致している。これまで汀線変化モデルでは離岸堤背

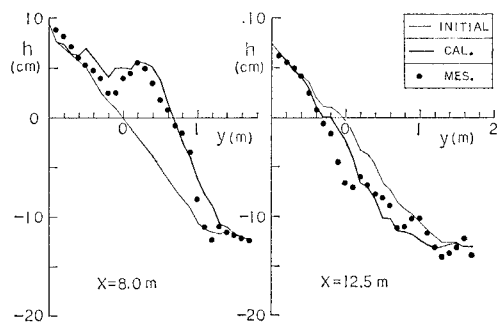


図-9 断面形状の計算値と測定値の比較 (ケース3)

すが両断面とも計算値は測定値と良く一致している。また断面積の変化についても計算値と実験値はほぼ対応している。

ここで提案した予測モデルは海浜形状については実験等による資料を必要とはしているが、それだけにかかなり実際に適合した予測が可能である。突堤の漂砂上手での堆積による海底勾配の増加や下手側での減少は、このモデルによって再現することができる。関数 e_1 の形状については波浪条件によって当然変化し波高の増大に伴ない変化する範囲が広がるために、このモデルを一般的に用いるためには基準となる関数形を定める必要があろう。

6. まとめ

汀線変化モデルと海浜形状の経験的固有関数展開を組合せて、経験的海浜変形予測モデルを考え、その妥当性について模型実験によって検討を行なったが実験の範囲では計算値と実験値はかなり良く一致した。このモデルの実用化をはかるには構造物等による波高、波向の変化を簡単に計算する方法の開発と波浪条件に対応する固有関数 e_1 の特性の解析が必要であらう。

参 考 文 献

- 1) 橋本 宏: 海浜変形モデルの富士海岸への適用, 第23回海講論文集, pp. 218~222, 1976.
 - 2) 橋本 宏・宇多高明: 経験的海浜変形モデルの小川原湖海岸への適用, 第26回海講論文集, pp. 215~219, 1979.
 - 3) Winant, C. D., D. L. Inman and C. E. Nordstrom: Description of seasonal beach changes using empirical eigenfunctions, J.G.R., Vol. 80, No. 15, pp. 1979~1986, 1975.
-