

離岸堤による隣接海岸への影響予測モデル

橋 本 宏*

1. ま え が き

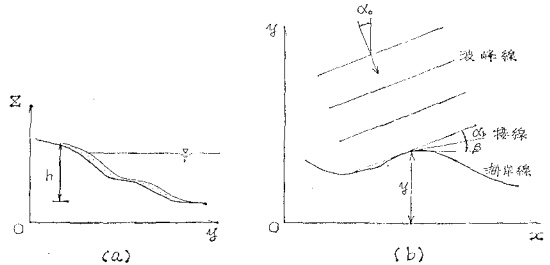
沿岸海域の土地利用が進むにつれて、防波堤や離岸堤などの構造物が、海岸の各地に造られている。構造物の規模が増大するにつれて、その効果も著しい代りに、影響も広く、また長期間にわたる。したがって、海岸に構造物を計画する場合においては、その効果のみならず影響についても、事前に予測しておく必要がある。最近になって、海岸侵食を防止したり、海水浴場を造成する目的で離岸堤が造られているが、離岸堤は突堤に比較すると効果が大きい代りに、またその影響も大きい。特に沿岸漂砂の存在する海岸に離岸堤が造られると、その構造によっては沿岸漂砂を完全に阻止する場合があるために、隣接海岸に堆積または侵食を生じる場合がある。したがって、離岸堤などの構造物による隣接海岸への影響を予測する手法の開発が望まれている。

ここでは、Pelnard-Considère¹⁾によって、突堤による海浜変形を予測するために使用された一次元モデルを、不透過の離岸堤による海浜変形に適用した結果について述べる。海浜の変形をモデル化する場合には、その中心となる現象のみを取り上げるために、実際の適用に際してはその妥当性についても検討する必要がある。実際に生じた現象で検証するのが望ましいが、条件が種々変化するために、計算結果との比較が困難である。検証のための一手段として、まず模型実験の結果との比較を行い、一次元モデルの適用限界についての検討を行った。また簡単に、海岸線の後退量を予測するための図表も示している。

2. 一次元モデルの基本式

海岸における砂の移動現象は、二つに大別することができる。すなわち、沿岸方向の移動と、海岸線に直角方向の移動である。ここで対象とするのは沿岸漂砂である。それぞれの現象は、必ずしも同じ時間のスケールで生じるわけではなく、別々に取扱うことが可能と考えられる。

Pelnard—Considère によって提案された一次元モデルの特徴は、海岸の堆積や侵食を、海岸線の前進や後退で



図—1 記号の説明

代表させることにある。すなわち、図—1 (a) に示すように海浜勾配を同じに保って前進または後退を生じると考え、海岸線に直角方向の変化を無視している。海岸線の変化を表わす基本式は、沿岸漂砂量公式と連続の式である。図—1 (b) に示すように、沿岸方向に x を、また y によって、 x 軸からの海岸線の位置を示すと、連続の式は次のようになる。

$$\frac{\partial q}{\partial x} + h \cdot \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 q は沿岸漂砂量、 h ：海浜の変形する高さ、 t ：時間である。ここでは、 h は時間的に変化しないとしているが、変化させてもよい。

沿岸漂砂量公式としては Savage 型の次式を使用する。

$$\begin{aligned} q &= \alpha E = \frac{\alpha}{8} w H_b^2 n_b C_b \sin \alpha_0 \cos \alpha_0 \\ &= F \sin \alpha_0 \cos \alpha_0 \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

ここで、 E ：砕波点において単位幅を横切って単位時間に輸送される波のエネルギー、 α ：定数、 w ：水の単位体積重量、 H_b ：砕波波高、 n_b ：砕波点での波速と群速度の比、 C_b ：砕波波速、 α_0 ：砕波点における波の入射角である。また、 $F = \alpha w H_b^2 \cdot n_b C_b / 8$ である。波の入射角を図—1 (b) のように y 軸とのなす角 α_0 と、海岸線の接線と x 軸のなす角 β によって表わし、 α_0, β が小さいとして次の近似を行う。

$$\begin{aligned} \sin \alpha_0 \cdot \cos \alpha_0 &\doteq \tan \alpha_0 = \tan(\alpha_0 - \beta) \\ &\doteq \tan \alpha_0 - \tan \beta \\ &\doteq \tan \alpha_0 - \frac{\partial y}{\partial x} \dots \dots \dots (3) \end{aligned}$$

したがって、式 (2) は次のようになる。

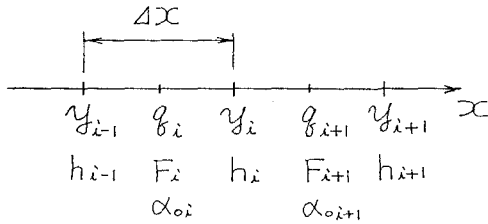


図-2 各格子点における変数の配置

$$q = F \left(\tan \alpha_0 - \frac{\partial y}{\partial x} \right) \dots\dots\dots (4)$$

式(1)と式(4)を連立させ、適当な境界条件のもとに解けば、海岸線の変化を知ることができる。係数 F や α_0 が場所的に変化しなければ、解析解を得ることができるが、離岸堤の場合には回折によって波高、波向が変化するために、数値計算によって解いた。

数値計算においては、計算の安定性と精度が問題になるが、ここでは変数を図-2のような格子に配置し、式(1)と式(4)を次のように差分化した。

$$(q_{i+1,j} - q_{i,j}) / \Delta x + h_i (y_{i,j+1} - y_{i,j}) / \Delta t = 0 \dots\dots (5)$$

$$q_{i,j} = F_i \{ \tan \alpha_{0i} - (y_{i,j} - y_{i-1,j}) / \Delta x \} \dots\dots (6)$$

ここで、 Δx は x 方向の格子間隔、 Δt は時間間隔を表わし、 i と j でそれぞれ x および t のステップを表わす。この場合の安定条件は、 F, h が x 方向に変化しない場合には次のようになる。

$$\Delta t < \Delta x \left(\frac{h}{F} \right) \dots\dots\dots (7)$$

ここで示した一次元モデルは、現象を単純化しているために、実際の現象に適用する場合には、その妥当性と計算に際して使用する係数について検討しなければならない。ここでは比較的諸条件を制御できる模型実験によってモデルの検証を行った。

3. 実験方法

実験は不透過離岸堤が、沿岸方向の漂砂の存在する海岸に設けられた場合の、堆積と侵食状況を対象として行った。図-3に示すように幅35m、長さ45m、高さ0.6mの平面水槽の一部に、幅22m、長さ25mの模型海浜を造り、離岸堤に隣接した海浜の変形を調べた。模型海浜は、中央粒径0.17mmの砂を1/10の勾配に敷き、一端に不透過の離岸堤を設けた。他端には沿岸漂砂を捕えるための捕砂装置を設置した。これは、長さ1m、高さ10m、幅25cmまたは50cmの箱をならべたもので、上部は穴あき板で覆ってある。

実験は海浜に波を20時間作用させて、その変形状態を測定した。波高は3台の波高計によって、水槽水平部の波高を測定し、砕波点における波高は波の作用開始後10時間と20時間に物指によって測った。砕波点にお

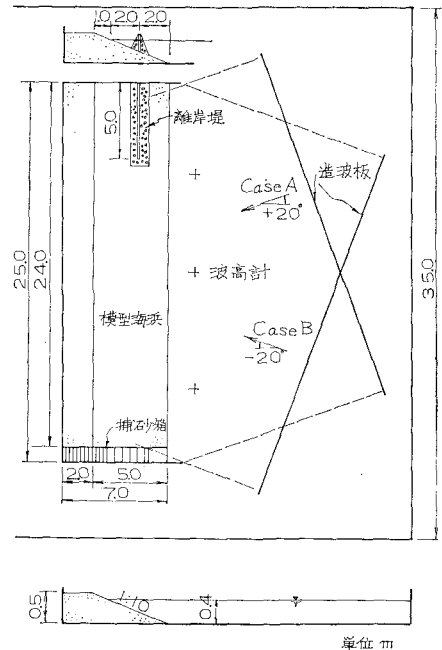


図-3 模型配置図

る波向は写真によって求めた。捕砂量については、1時間ごとに捕砂箱に入った砂の量を測定した。地形変化については、1時間ごとに汀線変化を沿岸方向に1m間隔で、また10時間ごとに海浜形状を、沿岸方向50cm、直角方向10cm間隔でレベルによって測定した。

実験条件としては、離岸堤の下手側に侵食の生じる場合(Case A)として、波の入射角を $+20^\circ$ 、堆積の生じる場合(Case B)として -20° に設定した。いずれの場合も、波高4cm、周期1.6sec、波形勾配0.01としている。なおこの条件では、海浜の平衡勾配は1/10でないために、沿岸方向の漂砂と同時に、沖への移動も生じている。

4. モデルの検討

一次元モデルについて、検討しなければならないことは、第1の仮定である海浜の前進後退を、海岸線の前退・後退で表わすことの妥当性である。また海岸線を代表するものとして、何を採用すべきかも問題になろう。

海岸線を表わすものとして汀線を取り、沿岸方向1m間隔ごとの汀線の初期の位置からの変化量 l と、直角方向の断面積の変化量 A の比較を行ったのが図-4と図-5である。図-4はCase AとBの10時間後の比較であり、図-5は20時間後のそれである。これらの結果によれば、汀線の変化量と断面積の変化量は、堆積する場合においても、侵食する場合においても線形な関係にある。図中の実線が、移動する高さ h を20cmとした場合の関係である。ただし、 $A=0$ の場合の l の値は0と

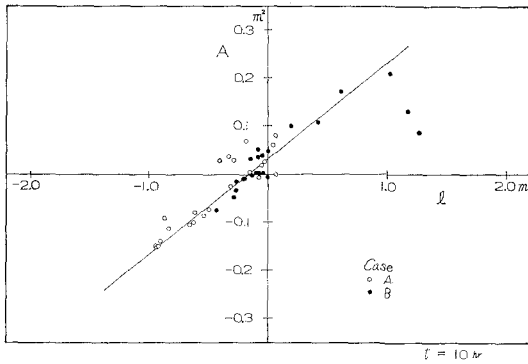


図-4 汀線と断面積の変化量の比較 (10 時間後)

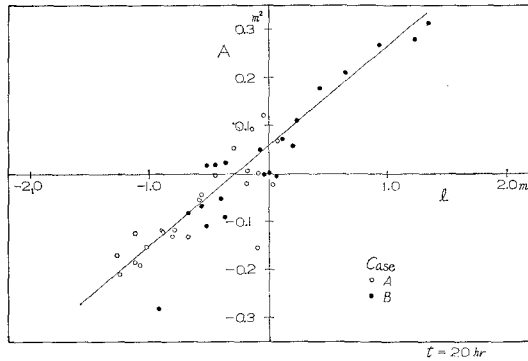


図-5 汀線と断面積の変化量の比較 (20 時間後)

ならず、また 10 時間後と 20 時間後では異なっている。これは断面積が変化しないにもかかわらず、汀線が後退しているためであり、沖への移動が存在することを示している。したがって、沖への移動がある場合には、汀線は代表的な海岸線とすることはできないが、沿岸漂砂が支配的な場合には汀線でもよいであろう。このような例として、富山県下新川海岸における侵食²⁾をあげることができる。そこでは汀線と断面積の変化が対応している。

模型実験の結果によれば、侵食や堆積はまず離岸堤の近くから始まり、それが離れた地点に及んでいる。定性的には一次元モデルによる変形と同じであるので、定量的な検討を行った。計算に際して与えなければならないものは式 (5), (6) の h, F, α_0 である。移動高さ h についてはさきの結果から $h=20\text{ cm}$ とする。 F は沿岸漂砂量に関連し、式 (2) によれば波高変化に伴って変化する。したがって、まず碎波点における波高 H_b と波向 α_0 について調べる。Case A の沿岸方向の H_b と α_0 を図-6 と 7 に、また Case B のそれを図-8 と 9 に示す。波形勾配 $H_0/L_0=0.01$, $H_0=4.0\text{ cm}$ の場合の碎波波高を海底勾配が $1/10$ の場合について、碎波指標から求めると $H_b=6.9\text{ cm}$ となる。Case B については平均的には一致しているが Case A については実験値が小

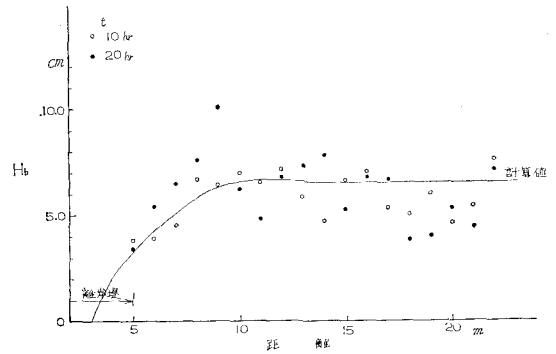


図-6 碎波波高の分布 (Case A)

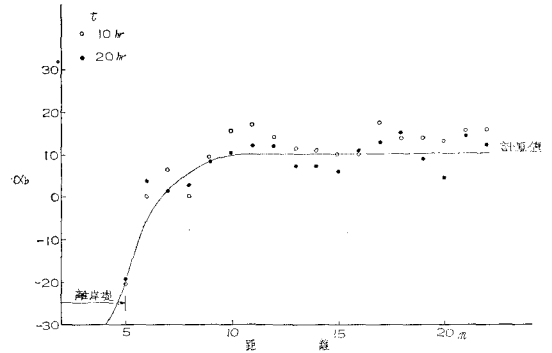


図-7 入射角の分布 (Case A)

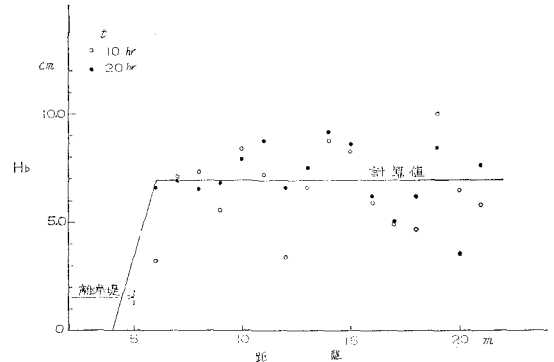


図-8 碎波波高の分布 (Case B)

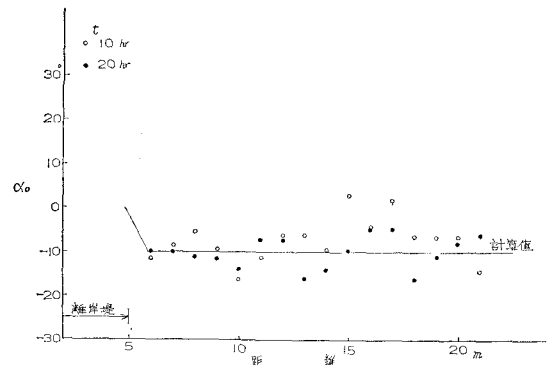


図-9 入射角の分布 (Case B)

さい。これは海底の勾配が侵食される場合には緩くなるための影響と考えられ、海底勾配が $1/20$ の場合には $H_0=6.6\text{ cm}$ となる。平均的には一致しているが実験値の変動が大きい。波向についても等深線が平行な場合の碎波点での角度を求めてみると $\alpha_0 \approx 10^\circ$ となり、平均的には一致しているが、やはり変動が存在する。計算に際しては、これらの変動は無視し、離岸堤による回折波の影響する範囲を除き、平均値を使用することとする。

Case A については各時間ごとの漂砂量を測定しており、地形変化の生じていない初めの1時間の漂砂量と、入射角 α_0 から $q=F \tan \alpha_0$ の関係を使用して F の値を求めると $F \approx 1.0 \text{ m}^3/\text{hr}$ となり、この値を回折波の影響のない場所で使用した。

離岸堤付近の回折波の影響のある場所では F と α_0 を変化させたが、 F についてはこれが H_0^2 に比例するものとし 図-6 と 図-8 に H_0 で、計算に使用した値が示してある。また α_0 についても同様に 図-7 と 図-9 に示してある。離岸堤が岸近くであるために、回折波の影響する範囲はせまい。

境界条件は Case A については離岸堤側では海岸線は変化しない。すなわち、 $y=0$ とし、捕砂装置の位置では、実験で得られた捕砂量を近似式で表示し与えた。時間的に積分した捕砂量の実験値と計算に用いた値を 図-10 に示す。Case B については離岸堤側では $y=0$ 、他端では Case A で捕砂した量を実験で補給しているため、その量を補給した。

計算結果が 図-11 と 図-12 に示してある。この図には実験で得られた断面積を $h=20\text{ cm}$ で割り、海岸線の変化になおした値も比較のために示してある。実験値と計算値はほぼ一致していると考えられるが、細かな点では差異を生じている。まず、問題になるのは Case A の離岸堤付近 (5~8m) で、計算値の侵食量が大きいことである。これは離岸堤による回折現象が適確に考慮され

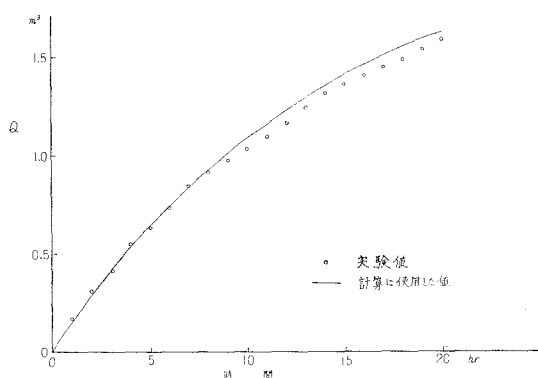


図-10 全漂砂量の時間的変化

ていないためとも考えられるが、計算ではある程度含まれている。しかも実験値は図折理論のみでは説明できず、屈折の効果も含めて考える必要があろう。次に特徴的なのは、実験値に 4~5m ごとの変動のあることである。特に $x=18\text{ m}$ 付近のそれが著しい。この変動は波高、波向にも表われており、 F や α_0 を実験値に合せて変化させれば、地形の変化もある程度は計算することができるであろう。しかし、海浜変形を実際に予測する場合は、あらかじめ F や α_0 の値も推定する必要がある、これらの変動の生じる機構が明確になれば、計算に取り入れることはできない。一様な海岸においてもバーやトラフが一定の間隔で生じることに対応していると考えられるが、実験水槽自体の特性も関連しているであろう。ここで生じている現象は、離岸堤によって沿岸漂砂が阻止されたために、離岸堤の上手側には堆積を、下手側には侵食を生ずるものと、沿岸方向にある間隔で海岸線が前進または後退するものの重ね合わせである。前者については一次元モデルで予測することが可能であろうが、後者については困難である。離岸堤から離れるにしたがって後者が卓越し、モデルの有効性は失われる。

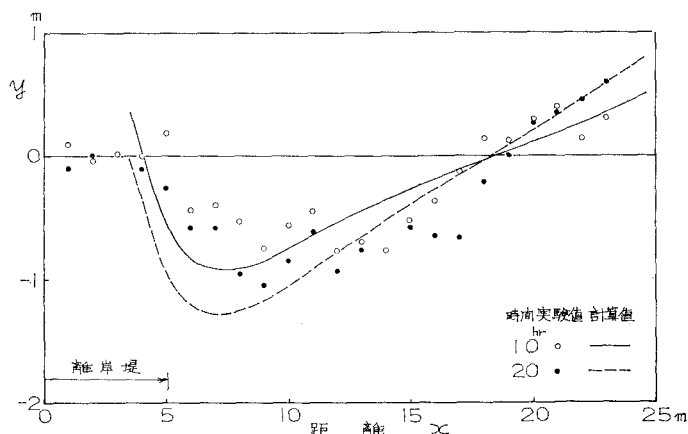
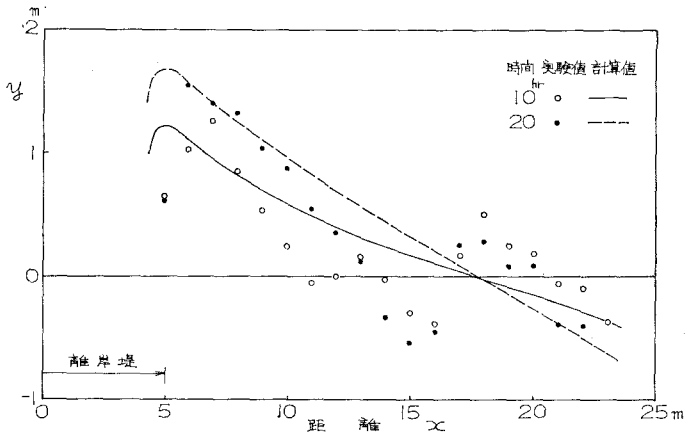
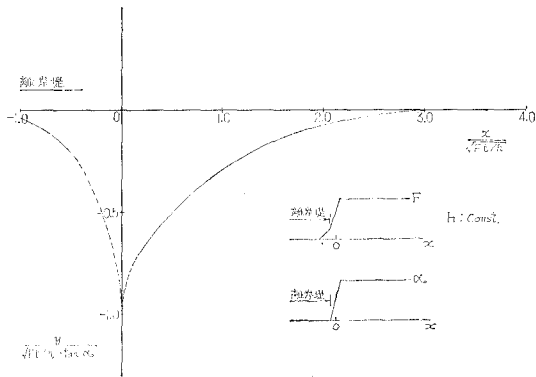


図-11 海岸線変化の実験値と計算値の比較 (Case A)



図—12 海岸線変化の実験値と計算値の比較 (Case B)



図—13 離岸堤による侵食形状

一般的に離岸堤による影響は、突堤に比較すると沿岸漂砂を阻止する効果が大いいために、下手側の侵食が問題になる。簡単な条件の場合の侵食量を計算して示したのが 図—13 である。ここでは沿岸方向の距離 x と後退量 y を関係する物理量によって無次元表示してある。沿岸漂砂量や、波の来襲する主方向が明らかになれば、不透過離岸堤によって沿岸漂砂を完全に阻止する場合の侵食量を、各時間、位置で見積ることができる。

5. あとがき

沿岸漂砂のある海岸に離岸堤を造ると、隣接海岸に影響がおよぶが、その量を予測するための一次元モデルについての検討を行った。模型実験の結果と、モデルによる計算値との比較を行ったところ、予測がほぼ可能であるという結果が得られた。ただし、海岸に一樣に波が入射しても、海岸線は一樣にならない場合があり、この場合にはモデルを適用することはできない。ここで検討したのは、比較的簡単な場合であり、沿岸方向に波高や波向が大きく変化する 場合についての検討も必要であろう。また、実際の海岸に適用する場合においては、外力である波浪条件や、波と沿岸漂砂量の関係が明確でなければならない、現地における観測資料の集積が望まれる。

参考文献

- 1) Pelnard-Considère, R: Essai de théorie de l'évolution des formes de rivages en plages de sable et de galets. IV^{ème} Journées de l'Hydraulique, 1954.
- 2) 富永正照・橋本 宏: 玉石海岸における侵食機構に関する研究(Ⅱ)—沿岸漂砂量の推定—, 防災科学技術総合研究報告第 28 号, 国立防災科学技術センター, 1972.