

海浜変形の数値計算

橋 本 宏

1. まえがき

我国は諸外国に比較すると、国土の面積に対する海岸線の延長が長いために、海岸は種々の形態で利用されており、都市は臨海部に集中している。海岸に構造物を造ればそれが周辺の海浜に変形を生じさせるために問題となったり、また海岸への主要な土砂供給源である河川においては、ダム建設や砂利採取が行なわれれば河口周辺の海岸で侵食を生じる場合がある。このような人為的な活動や自然条件の変動にもとづく海浜の変形を予測することは非常に重要である。予測の対象としては海岸侵食の防止をはかるための構造物の効果を検討する場合や、港湾の防波堤等の構造物による周辺海岸の変形を検討する場合に分けられる。いずれにしても最近造られる構造物は規模が大きくなっているために事前にその効果や影響を十分検討しておく必要があろう。

海浜変形の予測法に関してはすでに水工学シリーズにおいて筑波大学の西村助教授¹⁾によって述べられており、また第25回海岸工学講演会においても海浜変形予測に関するシンポジウムが行なわれているが、ここでは特に海岸線の変化予測に重点を置いて述べることにする。海浜の平面的な変形の数値予測に関してはまだ種々のアイデアが提案されている段階であり、手法としては確立していない。一方沿岸漂砂量公式と連続の式にもとづいた海岸線の変化予測に関しては適用限界が明らかにされ始め、実際の現象への適用も行なわれている。ここでは具体的な海岸線の変形を数値計算によって予測する手法について、基本となる考え方、適用限界、計算手法、計算例等について述べることにする。

2. 基本式

海浜における砂は岸・沖方向および沿岸方向に移動しているが、海岸線変形予測モデルでは岸・沖方向の移動を無視または平均化して考えている。海谷などがなければ、岸・沖方向の移動は岸側は波のうちあげ地点で、沖側は砂の移動限界水深で限定されているために沿岸方向の移動に比較すると平衡状態に達しやすい。波浪条件の変化に伴う岸・沖方向の漂砂を平均化して考えれば、海浜の主要な変化は沿岸漂砂によってもたらされる。ここで海浜が侵食または堆積する場合に、各水深における後退または前進量が図-1に示すように同じであると仮定すると海浜の変形は代表的な海岸線の変形で表わすことができる。このような考えのもとに海浜形状の変化を海岸線の変化で代表させたのが Parnard-Coonsidere²⁾ による海岸線予測モデルである。基本式としては沿岸漂砂量式と連続の式があげられ、これらは次のように表わされる。

$$q = F \sin \alpha_b \cdot \cos \alpha_b \quad (1)$$

$$\frac{\partial q}{\partial x} + h \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

ここで q : 沿岸漂砂量, F : 係数, α_b : 海岸線に対する波の入射角, y_0 : 海岸線, $y_0 = f(x, t)$, x : 沿岸方向の距離, t : 時間, h : 砂の移動高である。沿岸漂砂量公式として Savage³⁾ 型の式を用

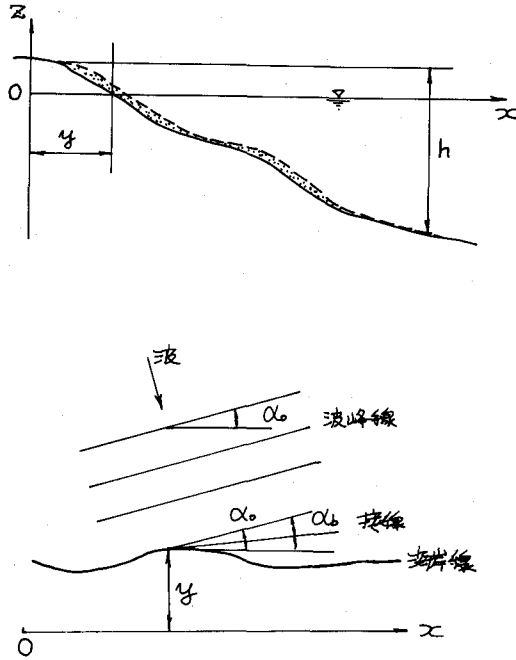


図-1 海岸線変化の変形モデル

いれば F は次のように表わされる。

$$F = \alpha \frac{1}{8} \rho g H_b^2 \cdot n_b \cdot C_b \quad (3)$$

ここで α : 係数, ρ : 海水の密度, g : 重力の加速度, H_b : 砕波波高, n_b : 砕波点での波速と群速度の比, C_b : 砕波点での波速である。また Komar 等⁽⁴⁾による沿岸漂砂量式を用いると次のようになる。

$$F = \frac{0.77 \rho g}{8(\rho_s - \rho)(1 - \lambda)} H_b^2 \cdot n_b \cdot C_b \quad (4)$$

ここで ρ_s : 底質の密度, λ : 空隙率である。

座標軸に対する砕波点¹における波の入射角を α_0 とすると砕波点での入射角 α_b は次のような関係にある。

$$\alpha_b = \alpha_0 - \tan^{-1} \frac{\partial y}{\partial x} \quad (5)$$

以上述べた式が海岸線変化予測のための基本式である。

3. 海岸線変形モデルの適用限界

海浜の変形は種々の形態に分けることができるが、海岸線変形モデルは、その基本式の示す通り沿岸漂砂の変化によって生じる現象にしか適用できない。しかも時間および空間スケールの大きい現象に限られる。すなわち防波堤などの構造物によって回折が生じ、波高や波向が変化するために沿岸漂砂量に差異を生じ海浜形状が変る場合や、構造物によって沿岸漂砂量が直接阻止される場合の海浜形状の変化に適用できる。また基本式は土砂収支が中心であるために、海岸への供給土砂量の増加や減少による海浜形状変化に適用できる。図-2 に海岸線変形モデルの適用可能な現象を模式的に示す。

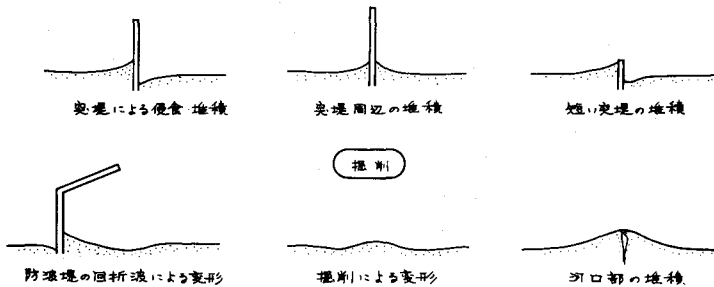


図-2 海岸線変形モデルの適用可能な現象

海岸線変形モデルは岸・沖方向の地形変化を平滑化して取扱っているために、当然このような現象には適用できない。すなわち波高の増加に伴って汀線付近の砂が沖へ移動する状況や、逆に波高が小さくなって沖から砂が戻る状況を予測することは不可能である。一般に海浜地形は動的な平衡状態にあり、波浪条件の変動に対応して変化しているが、岸・沖漂砂による海浜の地形変動については移動する範囲が限定されているために現地観測によってその変動幅が明らかになれば、海岸線変形モデルによって予測された結果に加えることに推定を行なうことができる。

漂砂は波によって浮遊し流れによって移動する形態をとるが、流れと波浪が対応していれば波浪条件を与えることによって沿岸漂砂量公式のように漂砂量を知ることができる。しかし、離岸流や潮流などによって砂の移動が生じる場合には海岸線変形モデルによる予測はできない。このような機構による変形としては図-3 に模式的に示すように例えば突堤に沿う流れが生じ、突堤先端付近に堆積する現象が

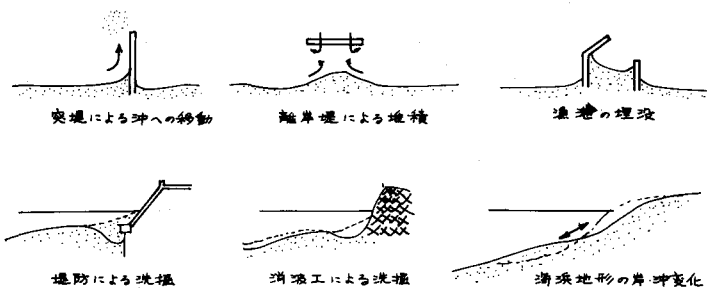


図-3 海岸線変形モデルの適用不可能な現象

あげられる。

空間的にも、また時間的にも現象のスケールが小さい場合も海岸線変形モデルの適用は困難である。図－3に示すように例えば堤防前面の洗掘や、構造物のない自然海浜で地形がリズムミックに変化する現象などがあげられる。後者については波浪、流れ、地形の相互干渉によって生じていると考えられ、このような機構が組込まれていないために当然予測は不可能である。

以上述べた現象の他に浮遊した砂が拡散し沈降して堆積する現象がある。碎波帯内に規模の小さい漁港などを造ると漁港内は静穏になるために碎波によって巻き上げられた砂が拡散し、漁港が埋没する場合があるが、このような現象への海岸線変形モデルの適用も困難であろう。

海岸線変形モデルの適用を考える場合には、まず対象とする現象がどのような機構によって生じているか、また生じる可能性があるかについて考察し、それが沿岸漂砂量の変化によって生じている現象であれば適用可能であり、他の機構であれば適用不可能である。また逆に、このモデルでは沿岸漂砂が主体となる現象のみが予測されるといえる。

4. 計算手法

4.1 計算手順

海岸に構造物を造った場合の周辺海岸地形への影響の予測や、侵食対策構造物の効果の検討に際して海岸線変形モデルを用いる場合の手順としては表－1に示す手順をとる。まず波浪や地形に関するデータを収集してそれを解析することによって計算条件を設定し、計算を行なって結果を表示するという一連の手順からなる。

表－1 海岸線変形の計算手順

番 号	項 目	内 容
1.	デ ー タ 収 集	波浪：波高、周期、波向の時系列 地形：汀線及深淺測量成果、航空写真、地形図 底質：底質の粒径、比重、砂層厚 構造物：種類、配置、規模、構造、施工年月 供給土砂量：崖侵食量、河口流出土砂量、寄与率
2.	計算条件の設定	外力条件：波浪の時系列、構造物による回折・屈折 境界条件：計算範囲、境界での条件 初期条件：初期海岸線形状 係数の設定：沿岸漂砂量公式の係数、移動高 構造物：種類、配置、施工年月等 供給及損失土砂量：量及時系列変化
3.	数 値 計 算	差分化による数値計算
4.	結 果 の 表 示	海岸線の変化、沿岸漂砂量の変化、検証結果

海岸線変形モデルはさきに示したように計算式が簡単であり、計算条件が与えられれば計算を行なわなくてもその結果をほぼ予測することができる。また逆にある結果を得るための計算条件も想定す

ることができる。したがって計算条件をいかに実際の条件に合せるかということが最も重要となる。すなわち実際の現象が再現できているかどうかをまず検証し、計算に用いる係数や計算条件の妥当性を明らかにしておかなければならない。したがって実際の海岸線変化を予測する場合にはデータの収集とそれを解析して計算条件を設定することが最も重要なものとなる。計算については基本式は拡散型の方程式であり、数値計算により比較的簡単に解くことができる。

収集すべきデータとしては波浪、地形、底質、構造物、河川等からの供給土砂量などがあげられる。これらのデータにもとづいて計算条件の設定とモデルの検証を行なう。計算に際して設定する条件としては外力となる波高および波向の条件、初期条件、境界条件などがある。またこの際、計算範囲、対象とする構造物等を設定する。これらの結果から計算を行なうが、一般には数値計算により、基本式の解法としては陽解法と陰解法がある。計算結果は海岸線および沿岸漂砂量として表示され、海岸構造物の影響について表示する場合には構造物の有無による変化を示す。これらの場合には平均形状の他に変動幅も表示する必要がある。以下にこれらの項目について個々に説明する。

4.2 データの収集

収集すべきデータの項目としては波浪、海浜地形、底質、構造物、供給土砂量などがあげられる。まず波浪データとしては毎日または1日数回観測された波高、周期、波向に関するデータが必要である。またデータの長さとしては3～5年以上が必要である。長期的な海岸線の予測を行なう場合には未襲波の主方向と年間の全エネルギーが得られればよいが、海岸線の変動も知りたい場合には波浪条件の日変化も必要である。しかし波浪データは全国の各海岸で得られているわけではなく、特に波向については観測を行なっている地点が少ないためになかなかよい資料が得られない。したがって海岸線変化の予測を行なおうとする場合にはまず波浪観測、特に波向観測を行なう必要がある。3～5年のデータがあれば、それにもとづいて波浪外力をシミュレートすることが可能である。

海浜地形については波浪の発生を規定する各方向の吹送距離、浅海での屈折状況を知るための海底形状、モデルの検証のための汀線変化や海底地形変化などを調べるために汀線測量や深浅測量の資料が必要である。汀線の変化については測量の資料の他に過去に撮影された航空写真を図化したり、また1/50,000または1/25,000の地形図をもとに解析することができる。深浅測量の資料についてはモデルの検証の他に、式(2)の移動高 h を決めるための重要な資料となる。

底質については沿岸漂砂量公式に底質の粒経変化による漂砂量の変化が含まれていない場合もありあまり重要ではないが、漂砂の卓越方向等を知る場合に参考となる。また海底の砂層が浅く岩盤が出る場合もあり、底質の分布を知っておく必要もある。

海岸の構造物については、モデルの検証のためには過去に造られた構造物の種類、規模、配置、構造、施工年月などの資料が必要である。また海岸に構造物を造った場合の影響を調べたり、侵食対策のための構造物の効果を評価する場合には構造物の種類、配置、構造、施工順序などの資料が必要である。構造物の規模が大きくなると短期間に完成する場合は少なく、ある程度の年数が必要であり、施工の順序によって海岸線の変形状況が異なるために施工順序が必要となる。この場合施工中の効果や影響も合せて予測できる。

供給や損失土砂については基本式が連続の式をもとにしているために予測の精度に大きく影響をする。海岸への土砂供給源としては崖および河川が考えられる。崖については崩壊等があり供給源となっている場合はその後退速度、高さ、崩壊土の粒度分布や海岸への土砂供給の割合等を調べる必要が

あろう。河川からの供給については、河口部の河床変動状況、河床縦断形状、河床材料の粒度分布、流域面積、流況、流域の地質、ダムの有無およびダムがある場合には貯水容量や堆砂量、砂利採取量などについての資料を収集する。また将来の予測を行なうに際してはダムの建設計画や砂利採取計画なども合せて調べておく必要がある。

海岸からの土砂の損失については海谷への土砂崩壊や砂利採取があげられ、前者については深淺図により、また後者については許可量等により過去の実績と将来の計画を明らかにしておく。

4.3 計算条件の設定

計算に際して設定すべき条件としては計算範囲、計算時間、沿岸漂砂量公式とその係数、海浜の移動高、構造物の配置、波浪条件、初期条件、境界条件などである。まず計算範囲としては、その計算を行なう目的から決まる範囲と計算上の条件から決められるものがある。前者については目的に対応して決定すればよい。後者については、この予測モデルが土砂収支を基本としているために境界からの流入流出を適確に予測できなければ全体の精度が悪くなる。したがって境界では $q = 0$ 、すなわち沿岸漂砂量が0となるように設定できればよい。このような条件を与えるものとしては岬や長い防波堤、岩礁地帯などがあげられる。計算範囲としては、したがって両端に岬などを持つ砂浜海岸全域をとる必要がある。

海岸に造られた構造物の影響を調べる場合には、構造物の海岸線に直角方向の長さの数倍までしか影響がおよばない場合もある。この場合には構造物から離れた場所では海岸線 y_0 が変化しないものとして計算を行ない、実際に境界近くの変化が小さければその結果は信頼できよう。

計算期間については海浜変形の数、波浪条件の変動等によって決める必要があり、数10年が対象となろう。これは計算結果にもとづいて判断を行ない、計算を終了または継続するかの判断をしてもよい。

沿岸漂砂量公式の係数については、Savage 及 Komer による式で一応の計算を行ない、検証データによってその妥当性を検討するのがよい。この値は海岸線の変化速度に関係し大きければ変化が早く、小さければ遅い。この変化速度に関係するのは沿岸漂砂量公式の係数の他に海浜の移動高 h に関係している。すなわち移動高が小さければ同じ沿岸漂砂量でも海岸線の変化が大きく、移動高が大きければ変形速度は小さい。堆積または侵食が著じるしい部分において、汀線の変化量と岸・沖方向の断面積の変化を図-4のように調べることによって移動高を求めることができる。海浜の変形は沿岸漂砂の差異による地形変化の他に、岸・沖方向の漂砂によっても生じる。沿岸漂砂による堆積量が少なければ断面積の変化と汀線の変化を比較しても移動高についての資料を得ることは困難である。したがって図-4に示すような解析を行なって移動高を求めるのは堆積または侵食の大きい場所を選定する必要がある。

構造物の配置や種類については目的によって変わり、与えられた条件で検討を行なえばよい。波浪条件については観測値にもとづいて入射波の時系列を与えるか、または数値モデルによって波高、周期、波向の時系列を発生して用いる。このための数値モデルとしては自己回帰モデルなどが使用できる。沿岸漂砂量は砕波点での波浪条件と結びついているために、入射波にもとづいて砕波点までの屈折計算等を行なう。これは変形計算と同じ程度の手間を必要とする。海岸線の各地点で、波向および周期ごとに砕波点での波向と屈折係数を計算し、数表等にしておく。防波堤などによって回折波が生じる場合には回折計算を行わなければならないが、回折と屈折の両者を簡単に計算する方法は現在

のところ開発されていない。防波堤の周辺では回折計算を、離れるにしたがって屈折計算を行なう方法を用いるか、屈折および回折を考慮した波動方程式を解かなければならない。後者の方法では代表的な波浪条件について計算を行なう程度であり、入射波の時系列変化に対応して計算を行なうのは非常に大変である。海底の等深線が平行な場合には屈折図を描かなくても深海での入射波向に対し、各水深での波向と屈折係数は解析的に求まり、図表にもなっているため、この結果を用いることができる。

砕波点の位置は入射波高や屈折係数によって変化するために、入射波高ごとに波向や屈折係数が異なるが、代表的波高例えば来襲波の頻度も考慮したエネルギーが最大となる波高によって生じる砕波条件を用いて沿岸漂砂量公式の入射角や屈折係数を設定する。

初期条件については計算の目的に応じて設定する。境界条件については図-5に示すように両端の境界で海岸線の位置または漂砂量を与える。海岸線と沿岸漂砂量の境界での値の予測は困難であるために海岸線については一定値、沿岸漂砂量については0となる場所を境界として選定するのがよい。

海岸に供給される量については崖の場合には後退速度に崖の高さをかけて、それに崩壊土砂がどの程度海岸の供給量となるかを表わす寄与率をかければ量が求まる。また河川についても流域面積に比流出土砂量をかけて河口での流出土砂量を求めるか、河床変動計算により河口流出土砂量を求め、これに寄与率をかけて供給量とする。しかし寄与率等について明確になっていないために具体的な計算に際しては種々の解析が必要である。

海岸からの土砂損失については海谷への流失や、浮遊して失われる場合が考えられるがその量の推定は困難で今後検討しなければならない課題である。海底勾配のきつい場所では図-6に示すように、勾配が一定の範囲を堆積する場合には移動高とすると損失をモデル化することができる。

4.4 計算手法

条件が設定されれば計算を行なえばよいが、簡単な場合を除いて数値計算によるのが普通である。基本式の(1)、(2)、(5)を差分化して計算を行なう。差分化の方法⁵⁾としては種々のものが考えられるが大別すると陽解法と陰解法に分けることができる。陽解法は差分式が簡単で構造物等の条件もいれ易いが、計算の安定性上時間きざみを小さくしなければならない。一方陰解法は計算の時間きざみを長くすることができるが、計算式が複雑になる。

沿岸方向の距離を Δx 間隔で、また時間を Δt 間隔で分割し、距離 $x = i \Delta x$ 、時間 $t = j \Delta t$ での値を $f(x, t) = f(i \Delta x, j \Delta t) = f_{ij}$ で表わす。陽形式の差分化を行なうと次のようになる。な

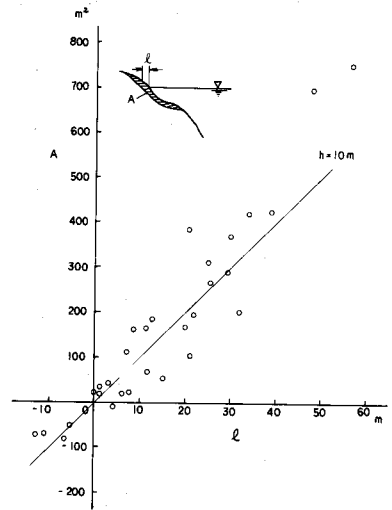


図-4 海岸線の変化と海浜断面積の関係(富士海岸)

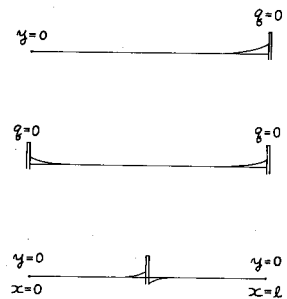


図-5 境界条件

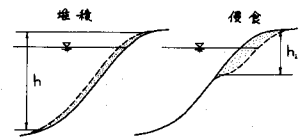


図-6 海底勾配がきつい場合の変形

お変数は図-7のように配置する。

$$\alpha_{bij} = \alpha_{0ij} - \tan^{-1} \{ (y_{i+1,j} - y_{i,j}) / \Delta x \} \quad (6)$$

$$q_{ij} = F_{ij} \cdot \sin \alpha_{bij} \cdot \cos \alpha_{bij} \quad (7)$$

$$y_{i,j+1} = y_{ij} - \frac{\Delta t}{\Delta x} \cdot \frac{1}{h_{ij}} (q_{ij} - q_{j-1,j}) \quad (8)$$

初期海岸線形状 y_{i0} から(6)式で α_{bi0} を求め、これを(7)式に代入し q_{i0} を求め、(8)式で y_{i1} を計算するという手順を繰返せば、各位置及時刻の海岸線の位置が求まる。また、供給土砂 q_0 がある場合には(8)式の右辺に $q_0 \cdot \Delta t / h_{ij}$ を加えればよい。

式(6)～(8)の差分式の計算が安定に行なわれるためには次の条件を Δt が満足しなければならない。

$$\frac{F}{h} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \leq \frac{1}{2} \quad (9)$$

これは $\alpha_b \ll 1$, α_0 , F , h が定数という条件で求めた安定条件である。

陰形式の差分化を行なう場合には式(1)と(5)において入射角が小さいとして次式のように変形する。

$$q = F \left(\tan \alpha_0 - \frac{\partial y}{\partial x} \right) \quad (10)$$

式(2)と(10)を差分化すると次のようになる。

$$q_{ij} = F_{ij} \left\{ \tan \alpha_{0ij} - \frac{1}{\Delta x} (y_{i+1,j} - y_{i,j}) \right\} \quad (11)$$

$$y_{i,j+1} = y_{ij} - \frac{\Delta t}{\Delta x} \cdot \frac{1}{h_{ij}} \left\{ \theta (q_{ij+1} - q_{i-1,j}) + (1-\theta) (q_{ij} - q_{i-1,j}) \right\} \quad (12)$$

ここで θ は定数で $0 \leq \theta \leq 1$ の値をとる。 $\theta = 1/2$ の場合が Crank・Nicholson 形の差分式になる係数 F , h , α_0 が定数の場合には $1/2 \leq \theta \leq 1$ で常に計算は安定となる。式(11), (12)は三重対角行列式となり連立方程式を解くことになるが、これは比較的簡単に解くことができる。

突堤のように沿岸漂砂を止める構造物のある場合には構造物の位置で沿岸漂砂量 $q = 0$ とおく。また突堤の長さが短かく、先端まで砂が堆積し先端を通過する漂砂のある場合には図-8に示すように汀線が突堤の先端より前進しないものとして海岸線の位置を与える。この場合反対側からの漂砂については $q = 0$ とする。

海岸堤防、護岸、消波工などがあって海岸線の後退を生じない条件にある場合には、構造物の位置で海岸線を固定し、前進のみ生じるようにする。

数値計算の結果はわかりやすく表示しなければならない。表示法としては海岸線の変化とともに沿岸漂砂量の変化を合せて表示するのがよい。構造物の効果や影響を調べる場合には、構造物がない場合の海浜の変形をまず明らかにし、次に構造物を設置した場合の変形

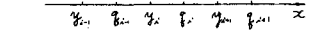


図-7 変数の配置

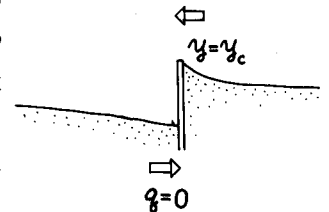


図-8 構造物による計算条件

を求めることになる。

5. 数値計算例

海岸線の変形に関する基本式は線形化すると拡散方程式となり、解析的にもラプラス変換などを用いて解くことができ、簡単な条件の場合には解析解もある。ここでは突堤や防波堤によって沿岸漂砂が阻止される場合の変化、河口から流出土砂がある場合の河口付近の海岸線形状などの計算例について述べるとともに、実際の海岸に適用した例として駿河湾の富士海岸の例を示す。

まず突堤による変形についてはこの手法を考案した Pelnard-Considere が検討した問題であり、直線海岸に波向 α_0 の入射波が存在するとき、突堤によって沿岸漂砂が完全に阻止されるとして計算を行ない、次のような解析解⁶⁾を得た。

$$y = \frac{\tan \alpha_0}{\sqrt{\pi}} \left[\sqrt{4Kt} \exp\left(-\frac{x^2}{4Kt}\right) - x\sqrt{x} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{4Kt}}\right) \right] \quad (13)$$

$$\operatorname{erfc}(n) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_n^{\infty} \exp(-n^2) dn \quad (14)$$

ここで $K = F/h$ 、 $\operatorname{erfc}(n)$ は誤差関数である。この形状は $y/\sqrt{4Kt} \times \sqrt{\pi}/\tan \alpha_0$ と $x/\sqrt{4Kt}$ によって無次元表示できる。具体例について計算した結果を図-9に示す。

その後この手法は Grijm^{7), 8)} によって河口部の堆積形状を予測するのに用いられた。河口に流出した砂は波の作用によってその両側へと拡散していく。河口幅の影響を考慮すれば図-10⁹⁾に示すように実際の河口部の海岸線形状と定性的には一致するものが得られる。河口からの流出土砂量が多ければ河口の突出は大であり、また波浪エネルギーが大きければ河口の突出は小さい。

突堤による海岸線の変化については Bakker^{10), 11), 12)} によってさらに発展し、突堤群としての効果、砕波帯の内と外に分けて、それぞれの代表的等深線の動きを解析する Two line theory への発展等がなされた。また Lepitet¹³⁾ や Price¹⁴⁾ は実験的にこれらのモデルの妥当性について検討した。また、Leblo-nd¹⁵⁾ はポケットビーチ (Spinal beach) について海岸線変形モデルによってその変形を解析した。

対象とする構造物等も種々のものが取り上げられるようになり、橋本¹⁶⁾ は離岸堤を建設した場合の

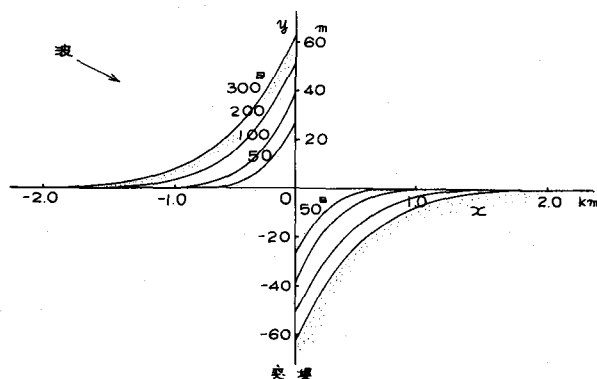


図-9 突堤による海岸線変化

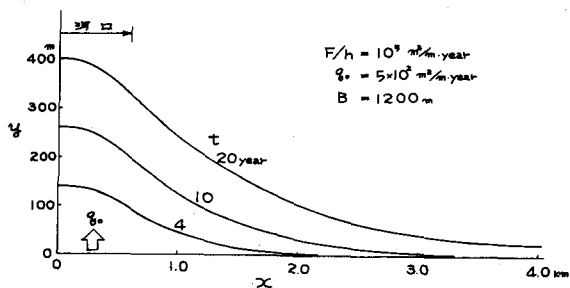


図-10 河口部の堆積形状

隣接海岸への影響を, Motyka 等¹⁷⁾ は砂利採取のために海底を掘削した場合の海岸線への影響を実験および数値計算によって検討した。また Horikawa 等¹⁸⁾ は Motyka と同様に掘削の影響を検討している。以上の他に土屋¹⁹⁾, 小笹²⁰⁾, 松岡²¹⁾ は海岸線変形モデルの適用性について検討している。

実際の海岸線変化を計算した例として富士海岸の例^{22), 23)} を述べる。この海岸は図-11に示すよう

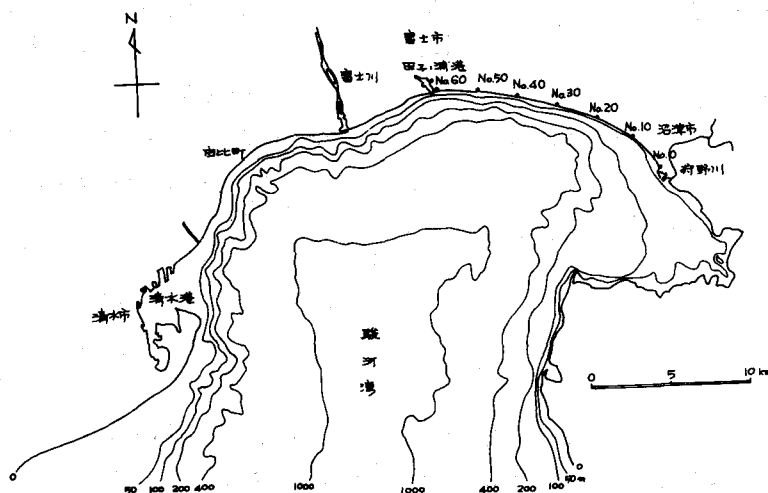


図-11 富士海岸位置図

に駿河湾の湾奥に位置し, 富士川の流出土砂によって形成された海岸であり, 海底勾配が約1/5ときついたために海岸侵食は非常に激しい。昭和34年から37年にかけて田子ノ浦港の防波堤が建設され, その西側では堆積を, 東側では侵食を生じた。

波浪条件については田子ノ浦港において港の建設に関連して昭和33年2月から38年12月の約6年間, 波高と波向の観測が行なわれたので, その結果にもとづいて波のエネルギーを計算した。この計算では長期にわたる海岸線の変化を予測するために波浪条件は一定とし時間的に変化しないものとした。田子ノ浦港における波エネルギーは観測値から次式を用いて求めた。

$$E_b = E_0 K_r^2 \sin \alpha_b \cdot \cos \alpha_b \quad (15)$$

ここで $E_0 = \rho g C_0 H_0^2 / 16$, C_0 : 深海波の波速, H_0 : 深海波の波高, K_r : 砕波点での屈折係数である。計算結果によれば $E_b = 1.67 \times 10^6 \text{ t} \cdot \text{m} / \text{m} \cdot \text{year}$, $E_0 = 1.41 \times 10^7 \text{ t} \cdot \text{m} / \text{m} \cdot \text{year}$ となり, もし $K_r = 1.0$ と仮定すれば式(15)より $\alpha_b = 6.8^\circ$ となる。計算の対象としたのは田子ノ浦と沼津港の間で, 図-11でも明かなように, 駿河湾の湾口から入射する波は東に向うほど減衰する。したがって波エネルギーも小さくなると考えられるが, その程度については資料がないために距離に比例して減衰するとした。また波向については一定とし $\alpha_b = 6.8^\circ$ とした。

海底の移動高 h についても田子ノ浦港防波堤付近の堆積, 侵食に伴う汀線変化と断面積の変化からその関係を求め $h = 10 \text{ m}$ とした。波エネルギーと沿岸漂砂量の関係についても田子ノ浦付近の堆積と侵食から検討するとサベージ型公式の係数として $\alpha = 0.075$ となった。

田子ノ浦港の東防波堤から沼津までの15kmの間を $\Delta x = 250 \text{ m}$ とし, 昭和43年7月の海岸線を初期条件として計算した。境界条件としては西側は突堤のり覆工が施工されているためにこれらの構造物

のない地点で観測された海岸線の変化を与え、東側の沼津では $q = 0$ とした。

富士海岸では年4回汀線測量が行なわれており、計算値と観測値の比較を行なった。図-12は各測点での比較を行なったものであるが、比較的簡単な条件で計算を行なったのにもかかわらずかなりよく一致している。

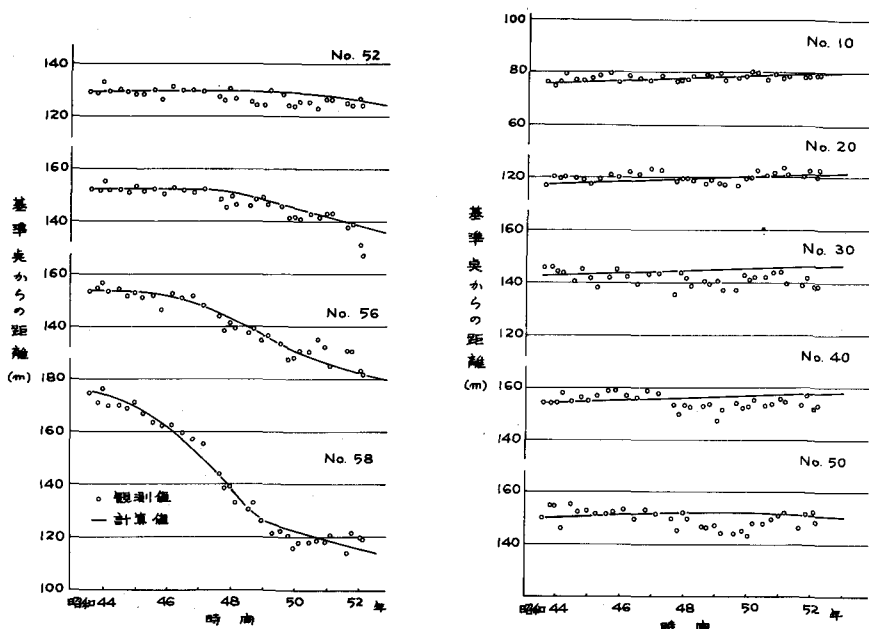


図-12 富士海岸での海岸線変化の比較(測点の位置は図-11に示す)

6. あとがき

海浜変形の数値計算として、特に海岸線変形モデルを取り上げて実際の予測を行なうための手法を中心に述べたが、基本式は簡単な式であり計算条件をどのように実際に合ったものとして与えるかが最も重要である。すなわち実際の現象の理解が必要で、波浪観測や深浅測量などの基礎データの集積が望まれる。今後は具体的な計算を通してその適用限界を明らかにしていく必要があろう。

参 考 文 献

- 1) 西村仁嗣：海浜変形の数値シミュレーション，1978年度水工学に関する夏期研修会議義集，土木学会，1978.
- 2) Pelnard - Considere, R.: Essai de théorie de l'évolution des formes de vivage en plages de sable et de galets, IV^{ème} Journées de l'Hydraulique, Les Energies de la Mer, Question III, Rapport No 1, 1956.
- 3) Savage, R.P.: Laboratory determination of littoral-transport rates, Proc. ASCE, No WW 2, 1962.
- 4) Komer, P.D. and D.L. Inman: Longshore transport on beaches, Jour. of Geophysical Research, vol. 75, No 30, 1970.

- 5) Richtmyer, R.D. and K.W. Morton : Difference methods for initial-value problems, 2nd ed. Interscience Publishers. 1967.
- 6) 前掲2)
- 7) Grijm, W : Theoretical forms of shorelines, 7th Conf. on Coastal Eng. 1960.
- 8) Grijm, W : Theoretical forms of shorelines, 9th Conf. on Coastal Eng. 1964.
- 9) 橋本 宏 : 河口部海岸線の変化特性, 土木技術資料, vol. 17, No 12, 1975.
- 10) Bakker, W.T. : The dynamics of a coast with groyne system, 11th Conf. on Coastal Eng. 1968.
- 11) Bakker, W.T. : E.H.J. Klein Breteler and A. Roos : The dynamics of a coast with groyne system, 12th Conf. on Coastal Eng. 1970.
- 12) Hulsbergen, C., H.G. Van Bochove and W.T. Bakker : Experimental verification of groyne theory, 15th Conf. on Coastal Eng. 1976.
- 13) Lepetit, J.P. : Transport littoral : Essais et calculs, 13th Conf. on Coastal Eng. 1972.
- 14) Price, W.A., Tomlinson, K.W. and O.H. Willis : Predicting changes in the plain shape of beaches, 13th Conf. on Coastal Eng. 1972.
- 15) Leblond, P.H. : On the formation of spiral beaches, 13th Conf. on Coastal Eng. 1972.
- 16) 橋本 宏 : 離岸堤による隣接海岸への影響予測モデル, 第21回海岸工学講演会論文集, 1974.
- 17) Motyka, J.M. and D.H. Willis : The effect of refraction over dredged holes, Proc. 14th Conf. on Coastal Eng. 1974.
- 18) Horikawa, K., T. Sasaki and H. Sakuramoto : Mathematical and laboratory models of shoreline changes due to dredged holes, Jour. of the Faculty of Eng., the University of Tokyo (B), vol. $\times\times\times N$, No 1. 1977.
- 19) 土屋義人, 安田孝志 : 海浜変形の簡単なモデル, 第25回海岸工学講演会論文集, 1978.
- 20) 小笹博昭, A.H. Brampton : 護岸のある海浜のてい線変化数値計算, 港湾技術研究所報告, 第18巻第4号, 1979.
- 21) 松岡道男, 越智 裕 : 汀線変化予測モデルの適用性の検討, 第26回海岸工学講演会論文集, 1979.
- 22) 橋本 宏 : 海浜変形モデルの富士海岸への適用, 第23回海岸工学講演会論文集, 1976.
- 23) 野田英明, 橋本 宏 : 漂砂と海岸保全施設, 新体系土木工学, 土木学会編, 技報堂出版, 1981.