

京大防災研 正会員 土屋 義人

1. 緒言

最近河川流域の高度利用に伴って流砂土砂が変化し、また沿岸海域の開発利用に伴う海岸構造物の設置などによる漂砂源の変化が余儀なくされ、各地で海岸侵食が助長されてきている。この現状から、海岸侵食の定量的な予測法の究明がきわめて重要であるが、河床変動の予測と相違して、根本的には1次元解析が適用できないので、その方法はきわめて困難である。河ロデルタの発達に関しては、Grijm, Pelnaud-Considere および Bakker らの理論がすでに発表され、海浜変形の理論に対する1つの試みと展開している。ここでは、海浜変形の連続式を検討したうち、Pelnaud にならって海浜変形の簡単なモデルを示し、若干の考察をすることにし、い。

2. 海浜変形の基本式

若垣博士は図-1に示す座標を用いて、漂砂帯の幅Bについての海浜変形の連続式を導いたが、若干の修正を行なえば次式がえられる。

$$(h_i/B) \partial y_0 / \partial t = \partial \bar{h} / \partial t - (1 - \bar{h}/h_i) \partial h_i / \partial t - (1/(1-\lambda)B) \partial Q_x / \partial x \quad \text{--- (1)}$$

ここに、 y_0 : 汀線前進量、 $\bar{h}$: 漂砂帯における平均水深、 h_i : 漂砂の移動限界水深、 Q_x : 沿岸漂砂量、 λ : 空疎率を100で割った値および t : 時間である。また、河川からの流送土砂による漂砂源 $Q_R(x, t)$ を考慮する場合には、(1)式は形式的に次式であらわれる。

$$(h_i/B) \partial y_0 / \partial t = \partial \bar{h} / \partial t - (1 - \bar{h}/h_i) \partial h_i / \partial t - (1/(1-\lambda)B) \partial Q_x / \partial x + (1/B^2) Q_R(t) \delta(x-x_0) \quad \text{--- (2)}$$

ただし、漂砂源が数個であれば(2)式右辺の第4項は $(1/B^2) \sum Q_{R_i}(t) \delta(x-x_{0_i})$ となり、ここに δ は Dirac の δ 関数である。一方、沿岸漂砂量式としては各種のものが提案されているが、若垣・橋本式とあげれば次式となる。

$$\frac{Q_x}{H_0 \sqrt{(\sigma/\rho-1)gd^3}} = 1.97 \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{2/3} \left\{ \frac{H_0}{(\sigma/\rho-1)d} \right\}^2 K_0^{1/3} \beta^{4/3} (\sin \alpha_0)^{4/3} \cos \alpha_0 \quad \text{--- (3)}$$

ここに、 H_0 : 沖波波高、 L_0 : 沖波波長、 K_0 : 碎波点での屈折係数、 α_0 : 碎波点での波の入射角、 β : 碎波点から浅の平均海底勾配、 d : 底質粒径および σ/ρ : 比重である。また、漂砂の移動限界に関しては波による場合の種公式が提案されているが、沿岸流を考慮したものはいくつか少ない。いずれにしても波および沿岸流の特性と底質特性などによって決定されるが、平均水深の変化については不明な点が多い。したがって、以上の諸関係式を示されれば、波浪条件の変化とも考慮することによって(1)式より汀線の変化として海浜変形と理論的に計算できる。

3. 海浜変形の簡単なモデル

前述した方法によって解析する第1歩として、本研究ではPelnaudらによる海浜変形モデルを少し発展させることを試みる。図-2のように、波の入射角に対して海浜変形による汀線の沿岸方向への傾斜角の変化が小さいものとすれば、沿岸漂砂量の変化は次式で近似される。

$$Q_x = Q_{x0} - (\partial Q_x / \partial \alpha)_0 \partial y_0 / \partial x + \dots \quad \text{--- (4)}$$

したがって、(1)式に代入することによって次式がえられる。

$$\partial y_0 / \partial t = A_x \partial^2 y_0 / \partial x^2 + B_x \partial y_0 / \partial x - C_x \quad \text{--- (5)}$$

$$\left. \begin{aligned} A_x &= (1/(1-\lambda)h_i) (\partial Q_x / \partial x)_0, & B_x &= (1/(1-\lambda)h_i) \{ \partial (\partial Q_x / \partial \alpha) / \partial x \}_0 \\ C_x &= (1/(1-\lambda)h_i) (\partial Q_x / \partial x)_0 - (B/h_i) \partial \bar{h} / \partial t - (B/h_i) (1 - \bar{h}/h_i) \partial h_i / \partial t \end{aligned} \right\} \quad \text{--- (6)}$$

したがって、 $t=0$ において $y_0 = f(x)$ とし、海浜条件によって定まる境界条件のもとにして(5)式を解けば、海浜変形も検討することができることになる。いま、波の屈折作用などによる定常的な変形 $\bar{y}_0$ と非定常な変形

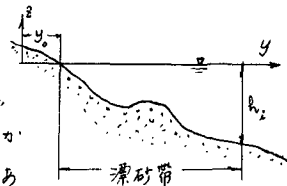


図-1 海浜変形の説明

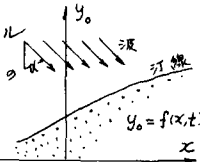


図-2 海浜変形による波向の変化

$$y_0' \text{ とにあげて, } y_0 = \bar{y}_0 + y_0' \text{ ----- (7)}$$

を仮定すれば、定常な変形に関する基礎式として、

$$A_x \partial^2 \bar{y}_0 / \partial x^2 + B_x \partial \bar{y}_0 / \partial x - C_x' = 0, \quad C_x' = (1/(1-\lambda)) h_i (\partial Q_x / \partial x). \text{ ----- (8)}$$

また、非定常な変形については次式がえられる。

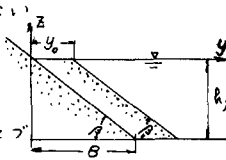
$$\partial y_0' / \partial t = A_x \partial^2 y_0' / \partial x^2 + B_x \partial y_0' / \partial x - C_x'', \quad C_x'' = -(B/R_i) \partial \bar{y}_0 / \partial t - (B/R_i) (1 - \bar{y}_0/R_i) \partial h_i / \partial t \text{ ----- (9)}$$

これらの変形のうち、前者はいわゆる定常な海浜変形とあらわし、主として波の回折効果によって決定される。

しかしながら、(6)式における平均水深などいまだ不明な量が少なくないので、ここでは Baker らによって図-3に示すように一定曲線の海浜を考慮、海浜変形に伴って海浜断面が変化しないものとするれば、若干の仮定のもとに一般に、

$$\partial \bar{y}_0 / \partial t = (1 - \bar{y}_0/R_i) \partial h_i / \partial t = 0 \text{ ----- (10)}$$

が成立するので、沿岸漂砂量の分布と漂砂の移動限界水深とを与えれば、前述の諸式にもとづいて海浜変形をいちおう計算することが出来る。ただし、(5)式は A_x の符号によって解の特図-3 簡単な海浜性が変わるので、以下では1例として(3)式から $(\partial Q_x / \partial x)_0 > 0$ の場合のみを対象とする。海浜変形のモデルが $(\partial Q_x / \partial x)_0 < 0$ の場合にも同様な考察ができる。



4. 海浜変形の予測

つぎに、前述した海浜変形の簡単なモデルに基づく海浜変形の予測について、参考として、三の計算例をあげることにする。

A. 防砂堤による海浜変形 直線状の海岸で防砂堤による波の解析が省略される場合には、 $B_x = C_x = 0$ となるので、次式がえられる。

$$\partial y_0 / \partial t = A_0 \partial^2 y_0 / \partial x^2 \text{ ----- (11)}$$

前述したように $A_0 > 0$ の場合のみを対象とすれば、拡散方程式として容易に解を求めることができる。たとえば、波浪条件を一定として、 $t=0$ において、 $y_0 = 0$ 、 $x=0$ において、 $\partial y_0 / \partial x = \alpha_0$ ($Q_x = 0$) および $x=\infty$ において、 $y_0 = 0$ とし解は次式であらわれる。

$$y_0 = \alpha_0 \{ \sqrt{A_0 t / \pi} \exp(-x^2 / 4 A_0 t) - \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(x / \sqrt{4 A_0 t}) \} \text{ ----- (12)}$$

$$\text{ここに, } y_0 = y_0 / R_i, \quad x = x / R_i, \quad t = \bar{Q}_0 t / R_i^3, \quad Q_x = \bar{Q}_0 f(x), \quad A_0 = (1/(1-\lambda)) (\alpha f(x) / \alpha x) \text{ ----- (13)}$$

この式によれば、 $y_0 \sim \alpha_0 \sqrt{A_0 t}$ によって変形が生じることになる。さらに回折効果を導入することもできる。

B. 波浪条件の変化による海浜変形 この場合にも、(10)式が成立するものとするれば、(11)式が適用されるが $A_0 = A_0(t)$ となる。(12)式と同じ初期・境界条件に対しては、つぎの解がえられる。

$$y_0(x, t) = \alpha_0 \left[\sqrt{A_0(t) / \pi} \exp(-x^2 / 4 A_0(t) t) - \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(x / \sqrt{4 A_0(t) t}) \right], \quad t_1 = \int_0^t A_0(t') dt' \text{ ----- (14)}$$

さらに、一般的には(8)および(9)式に基づいて考察すべきことはいうまでもないが、波浪条件の変化に伴う漂砂帯の平均水深などの変化を見出す必要がある。

C. 流出土砂量の変化による海浜変形 いま簡単のために、 $x=x_0$ において漂砂源として $Q_R(t)$ が流入するものとするれば、前述した場合と同じ仮定のもとには、次式が成立する。

$$\partial y_0 / \partial t = A_0 \partial^2 y_0 / \partial x^2 + (1/B^2) Q_R(t) \delta(x-x_0) \text{ ----- (15)}$$

ただし、波浪条件は一定とし、直線状の海岸におけるデルタ地形の形成を取扱えば、 $t=0$ において、 $y_0 = 0$ 、 $x=\infty$ において $y_0 = 0$ とし、次式がえられる。

$$y_0(x, t) = (1/B^2) \int_0^t Q_R(t') / \sqrt{4 A_0(t-t')} \cdot \exp\{-(x-x_0)^2 / 4 A_0(t-t')\} dt' \text{ ----- (16)}$$

さらに、 $t=0$ において $y_0 = f(x)$ 、 $x=\infty$ で $y_0 = 0$ とし、 $Q_R(t) \rightarrow Q_R'(t)$ に変化した場合には、次式となる。

$$y_0(x, t) = \int_0^t f(x') / \sqrt{4 A_0(t-t')} \cdot \exp\{-(x-x')^2 / 4 A_0(t-t')\} dx' + (1/B^2) \int_0^t Q_R'(t') / \sqrt{4 A_0(t-t')} \cdot \exp\{-(x-x_0)^2 / 4 A_0(t-t')\} dt' \text{ (17)}$$

5. 結 語 以上、海浜変形の連続式に基づいて Peimiao の方法で海浜変形の定式化を試みれば、実験結果との比較など多くの問題が残っているが、まずはじめにこれを講演時に述べたいと思う。