II-418　突堤および河口周辺の海浜変形の1次元モデル

京大防災研　正員　土屋義人，岐大工　正員　安田孝志，A.I.T.　学生員　中谷剛

1. 緒言　Pelnard-Considèreの仮定に基づく海浜変形の1次元モデルでは，海浜地形の変化が汀線の変化のみによって表されるが，それが拡散型の偏微分方程式の解として与えられるので，その解が解析解として導かれる限り，このモデルは海浜変形の基本解としての価値を持つものと考えられる。ここでは，突堤や河口周辺の海浜変形の1次元モデルを解析解として提案し，それによる海浜変形の特性について考察する。

2. 海浜変形の基礎方程式　海浜変形を解析解によって1次元的に取扱う立場から，次の仮定を行う。i) 海浜の断面形状および移動限界水深は不変。ii) 沖方向漂砂および浜漂砂は無視する。これらの仮定を図-1のように定めた座標系に対して与えられる一般的な海浜変形の基礎式[1]に適用すれば，次式が導かれる。

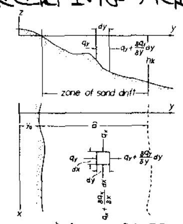


図-1 座標系の説明

$$\partial y_0/\partial t = -\{1/(1-\lambda)h_k\}(\partial Q_x/\partial \alpha)\partial^2 y_0/\partial x^2 + \{1/(1-\lambda)h_k\} q_R(x,t) \quad (1)$$

ここに，y_0；基準線(x軸)から汀線までの距離，λ；底質の空隙率，h_k；移動限界水深，Q_x；沿岸漂砂量，およびq_R；河口からの単位幅当りの流出土砂量である。このときの初期および境界条件は，$t=0$；$y_0=0$　および　$x\to\pm\infty$；$y_0=0$　である。

3. 海浜変形の予測モデル　1)突堤長を考慮した突堤周辺の海浜変形モデル　突堤の先端よりも岸側の漂砂は突堤によって完全に抑止されるが，沖側の漂砂は影響を受けることなく通過するものとすれば，突堤によって抑止される漂砂の割合を示す抑止率$100f$は，著者らが提案した沿岸漂砂量則[1]を用いることによって，次式のように初期突堤長lの関数として定義される。

i) $l-y_0<y_B$：突堤長$(l-y_0)$が砕波帯の幅y_Bよりも短い場合

$$f=\int_0^{l-y_0} q_s\,dy \Big/ \left\{\int_0^{y_B} q_s\,dy + \int_{y_B}^{B} q_0\,dy\right\} \quad (2)$$

ii) $l-y_0>y_B$：突堤長$(l-y_0)$が砕波帯の幅y_Bよりも長い場合

$$f=\left\{\int_0^{y_B} q_s\,dy + \int_{y_B}^{l-y_0} q_0\,dy\right\} \Big/ \left\{\int_0^{y_B} q_s\,dy+\int_{y_B}^{B} q_0\,dy\right\} \quad (3)$$

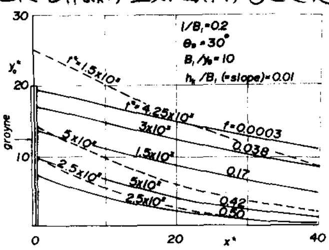


図-2 突堤上手側の汀線変化

ここに，q_sおよびq_0はそれぞれ砕波帯内および外での漂砂量である。いま，$x=0$の位置に抑止率$100f$の突堤が築造されているものとすれば，このときの$x=0$での沿岸漂砂量$Q_x|_{x=0}$と突堤の影響を受けない十分遠方での沿岸漂砂量$Q_x|_{x=\infty}$の間に　$Q_x|_{x=0}=(1-f)Q_x|_{x=\infty}$　の関係が成立する。ここで，沿岸漂砂量則$Q_x=\overline{W}\sin 2\alpha_B$を用いれば，$x=0$および$\infty$での砕波点の入射角$\alpha_b$と$\alpha_B$の関係が　$\alpha_b=(1/2)\sin^{-1}\{(1-f)\sin 2\alpha_B\}$　で表される。よって，α_b，α_Bおよび$\partial y_0/\partial x$の間の周知の関係から，突堤長の影響は，次式の境界条件で代表されることになる。

$$x=0;\ \partial y_0/\partial x=\alpha_B-(1/2)\sin^{-1}\{(1-f)\sin 2\alpha_B\} \quad (4)$$

これらの条件下に式(1)を解けば，このときのモデルが得られる。

$$y_0^*=-\int_0^{t^*}\{1/2\sqrt{\pi(t^*-\tau)}\}[2\alpha_B-\sin^{-1}\{(1-f)\sin 2\alpha_B\}]\exp\{-x^{*2}/4(t^*-\tau)\}d\tau \quad (5)$$

ここに，$x^*=x/h_k$，$y_0^*=y_0/h_k$，および$t^*=\{t/(1-\lambda)h_k^2\}(\partial Q_x/\partial\alpha)|_{\alpha=\alpha_B}$ である。図-2は計算結果の1例であり，破線は比較のために示した$f=1$の場合を示す。　2)流出土砂量が時間的に変化する場合の河口デルタの変形モデル

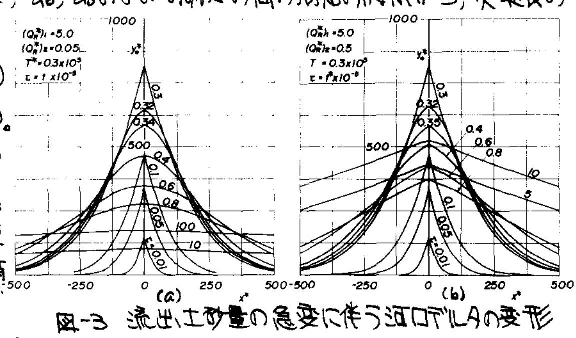


図-3 流出土砂量の急変に伴う河口デルタの変形

$$q_R(x,t)=(Q_{R1}/2)[\mathrm{erfc}(t-T)+(Q_{R2}/Q_{R1})\{\mathrm{erf}(t-T)+1\}]\delta(x)\ ,\quad \delta(x);\ \text{Dirac の } \delta \text{ 関数} \quad (6)$$

のように一定時間T後に流出土砂量がQ_{R1}からQ_{R2}に急変する場合を扱う。式(6)を式(1)に適用し，同様に解けば，

$$y_0^*=\{Q_{R1}^*/4(1-\lambda)\sqrt{\pi}\}\int_0^{t^*}(1/\sqrt{t^*-\tau})\exp\{-x^{*2}/4(t^*-\tau)\}[\mathrm{erfc}(\tau-T^*)+(Q_{R1}^*/Q_{R2}^*)\{\mathrm{erf}(\tau-T^*)+1\}]d\tau,\quad Q_R^*=Q_R(1-\lambda)/(\partial Q_x/\partial\alpha) \quad (7)$$

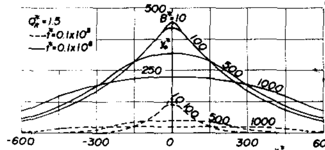
によってこのときのモデルが与えられる。図-3は計算結果の1例であり，流出土砂量の変化に応じてデルタ形状

が変化して行く過程が明らかとなっている。また，流出土砂量q_Rが

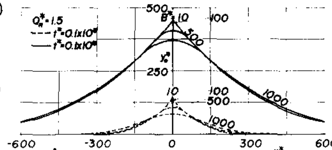
$$q_R = Q_R(1+\varepsilon\cos\omega t)\delta(x) \tag{8}$$

のように周期的に変化する場合の海浜変形は次式で表される。

$$y_0^* = \{Q_R^*/(1-\lambda)\}\left[\sqrt{t^*/\pi}\exp(-x^{*2}/4t^*) - (|x^*|/2)\operatorname{erfc}(x^*/\sqrt{4t^*}) + \varepsilon\int_0^{t^*}\{\cos\omega^*\tau/\sqrt{4\pi(t^*-\tau)}\}\exp\{-x^{*2}/4(t^*-\tau)\}d\tau\right] \tag{9}$$



(a) 式(11)による場合



(b) 式(13)による場合

図-4 デルタ形状に及ぼす流出土砂分布の影響

3) 流出土砂の分布を考慮した場合の河口デルタの変形モデル　まず，幅B_Rの河口からの流出土砂が次式のように一様分布する場合を考える。

$$q_R(x) = Q_R/B\ ;\ |x| \leqq B_R/2\ ,\ q_R(x) = 0\ ;\ |x| > B_R/2 \tag{10}$$

このときの河口デルタの変形モデルは，式(10)に対する式(1)の解として次式となる。

$$y_0^* = -\{Q_R^*/2(1-\lambda)B_R^*\}\int_0^{t^*}\left[\operatorname{erf}\{(x^*-B_R^*/2)/\sqrt{4(t^*-\tau)}\} - \operatorname{erf}\{(x^*+B_R^*/2)/\sqrt{4(t^*-\tau)}\}\right]d\tau \tag{11}$$

ついで，幅B_Rの河口からの流出土砂量q_Rが次式のように指数分布する場合を考える。

$$q_R(x) = (8Q_R/B_R\sqrt{\pi})\exp\{-(8x/B_R)^2\} \tag{12}$$

このときの河口デルタの変形モデルは，次式のようになる。

$$y_0^* = \{Q_R^*/16(1-\lambda)\sqrt{\pi}\}\left[-B_R^*\exp\{-(8|x^*|/B_R^*)^2\} + \sqrt{256t^*+B_R^{*2}}\exp\{-(8|x^*|/\sqrt{256t^*+B_R^{*2}})\}\right.$$
$$\left. - 8|x^*|\sqrt{\pi}\{\operatorname{erf}(8|x^*|/B_R^*) - \operatorname{erf}(8|x^*|/\sqrt{256t^*+B_R^{*2}})\}\right] \tag{13}$$

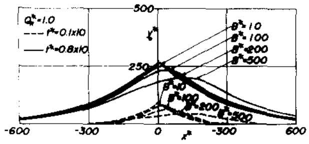


図-5 流出土砂分布の非対称性の影響

さらに，流出土砂分布の非対称性の影響を検討するため，$q_R(x)$が次式のように単純化された場合を取扱う。

$$q_R(x) = 0\ ;\ |x| > B_R/2\ ,\ q_R(x) = (Q_R/B_R)(1+2x/B_R)\ ;\ \ |x| \leqq B_R/2 \tag{14}$$

このときの海浜変形は次式によって与えられる。

$$y_0^* = -\{Q_R^*(2x^*+B_R^*)/2(1-\lambda)B_R^*\}\int_0^{t^*}\left[\operatorname{erf}\{|x^*-B_R^*/2|/\sqrt{4(t^*-\tau)}\} - \operatorname{erf}\{|x^*+B_R^*/2|/\sqrt{4(t^*-\tau)}\}\right]d\tau - \{Q_R^*/3(1-\lambda)B_R^{*2}\}$$
$$\cdot\left(2\sqrt{t^*/\pi}\left[2t^*\exp\{-(x^*-B_R^*/2)^2/4t^*\} - (x^*-B_R^*/2)^2\exp\{-(x^*-B_R^*/2)^2/4t^*\}\right] + |x^*-B_R^*/2|^3\operatorname{erfc}\{|x^*-B_R^*/2|/2\sqrt{t^*}\}\right)$$
$$+\{Q_R^*/3(1-\lambda)B_R^{*2}\}\left(2\sqrt{t^*/\pi}\left[2t^*\exp\{-(x^*+B_R^*/2)^2/4t^*\} - (x^*+B_R^*/2)^2\exp\{-(x^*+B_R^*/2)^2/4t^*\}\right] + |x^*+B_R^*/2|^3\operatorname{erfc}\{|x^*+B_R^*/2|/2\sqrt{t^*}\}\right) \tag{15}$$

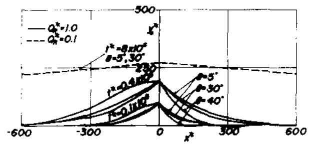


図-6 河口デルタの形状に及ぼす入射角の影響

図-4および5は，式(11)，(13)および(15)による計算結果を示したものであり，流出土砂分布の影響が明らかとなる。

4) 沿岸漂砂の運搬・堆積機構の非対称性の影響を考慮した場合の河口デルタの変形モデル　Pelnard-Considére の仮定に基づく沿岸漂砂量Q_xの入射角αに関する周知の展開を2次のオーダーまで行い，これを前述の一般的な海浜変形の基礎方程式に適用すれば，解くべき方程式は式(1)に代わって次式となる。

$$\partial y_0/\partial t = \{1/(1-\lambda)h_k\}\left\{(\partial Q_x/\partial\alpha)|_{\alpha=\alpha_B} - (\partial y_0/\partial x)(\partial^2 Q_x/\partial\alpha^2)|_{\alpha=\alpha_B}\right\}\partial^2 y_0/\partial x + \{1/(1-\lambda)h_k\}q_R(x) \tag{16}$$

この式に含まれる非線形項$(\partial y_0/\partial x)(\partial^2 y_0/\partial x^2)$の符号は，河口デルタの場合には$x$の正および負領域において異なるため，式(16)を用いれば沿岸漂砂の運搬・堆積機構が非対称となり，流出土砂分布が対称であってもデルタの形状は非対称になるものと考えられる。式(16)を点源流出として摂動法によって解けば，このときの海浜変形は

$$y_0^* = \{Q_R^*/(1-\lambda)\sqrt{\pi}\}\{\sqrt{t^*}\exp(-x^{*2}/4t^*) - (|x^*|/2)\operatorname{erfc}(|x^*|/\sqrt{4t^*})\} + \{Q_R^{*2}\tan 2\alpha_B/2\pi(1-\lambda)\}$$
$$\cdot\int_0^{t^*}\{d\tau/\sqrt{\pi(t^*-\tau)}\}\left[\int_{-A}^{0}\exp\{-(\xi^2/4\tau)-(x^*-\xi)^2/4(t^*-\tau)\}\operatorname{erfc}(-\xi/\sqrt{4\tau})d\xi - \int_0^{A}\exp\{-(\xi^2/4\tau)-(x^*-\xi)^2/4(t^*-\tau)\}\operatorname{erfc}(\xi/\sqrt{4\tau})d\xi\right. \tag{17}$$

によって与えられる。図-6は，式(17)による河口デルタの変形を示したものである。これから，河口デルタの形状は，来襲波浪の入射角のみならず河口からの流出土砂量にも依存し，非対称性の程度はこれらに応じて大きく変化することがわかる。また，沿岸漂砂の上手側海岸が堆積のために穏やかな形状となるのに対し，下手側海岸が侵食のために逆に急峻となる点などは，興味ある点であろう。

4. **結　語**　以上，解析解の形で表される突堤および河口周辺の海浜変形の1次元モデルを提案し，これらによる海浜変形の数例を示して突堤長や河口からの流出土砂の特性が海浜形状に及ぼす影響について考察した。これらによって，典型的な場合の海浜変形の取扱いが極めて容易になるものと思われる。紙面の都合でさらに詳細な計算結果およびそれらに対する考察を割愛したが，これらについては講演時にのべたい。

参考文献　1) 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, pp.189-193.