

【例題5 - 実用7】one-line theory による汀線変化予測

ある海底勾配をもつ直線的な平行等深線海岸に突堤が建設された状況下で、沖波波高 H_0 、周期 T の波浪が波向き α_0 で入射した場合に生じる汀線変化を one-line theory に基づき予測せよ。

【解】

(1) one-line theory では、沿岸漂砂の収支により発生する土量の変化量を、次の仮定の基に汀線の前進・後退量に置き換えられるものとしている。海浜断面の变形は図1に示すように、ある漂砂の移動高 D_s の範囲で平行に前進あるいは後退移動するものとする。その場合、海浜の变形をある代表等深線で表すものとし、一般的にその代表等深線として汀線を用いる。図1に示すように、沿岸方向に Δx の間隔、岸沖方向には移動高 D_s で定義される領域内に、時間 Δt の間に出入りする沿岸漂砂量 Q 、岸沖漂砂量 q_s, q_o の収支を考える。次に、その領域内の土砂変化量 ΔV を移動高さ D_s で除すことにより汀線の岸沖方向の移動量 Δy に変換する。

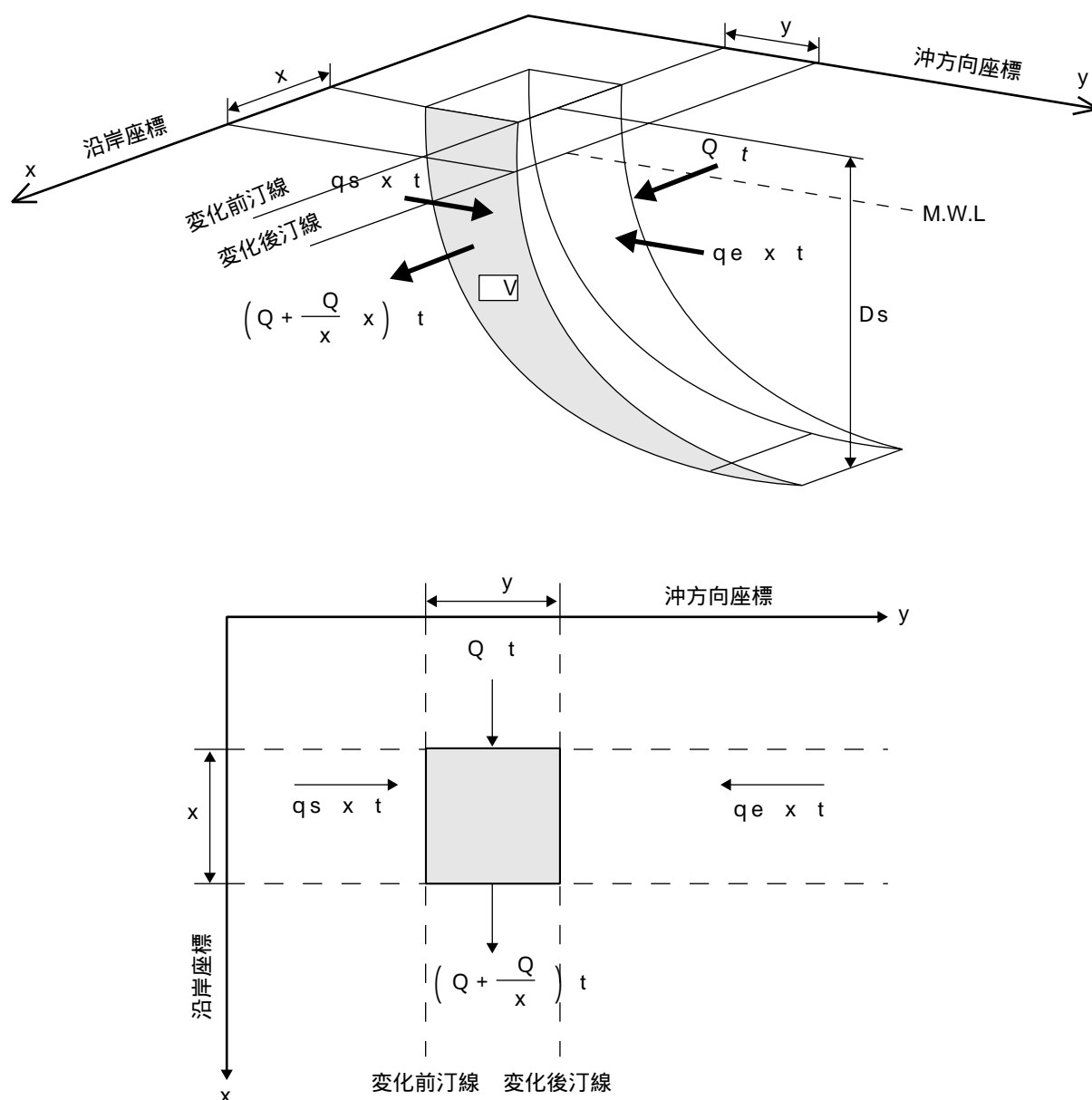


図1 汀線変化モデルの概要

(2) そのような土砂の収支は次式に示す土砂の保存式で表される．

$$\frac{\partial y_s}{\partial t} + \frac{1}{D_s} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} - q \right) = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 y_s は汀線の岸沖方向位置、 Q は空隙率を含む沿岸漂砂量、 D_s は移動高であり、 q は岸沖方向の土砂移動量で、河川からの土砂供給量や沖合いへの土砂流出量として入力可能である．

(3) 沿岸漂砂量式はいろいろ提案されているが、実用的には波浪エネルギーフラックスモデルである CERC 式(1977)あるいは沿岸流を考慮した小笹・Brampton 式(1979)が使われることが多い．ここでは、CERC 式を用いる．波向と汀線の傾きの関係を図2に示すように定義すると、沿岸漂砂量は次式で表される．

$$I = K(EC_g)_b \sin \alpha_{bs} \cos \alpha_{bs} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 EC_g は波浪エネルギーフラックスで、波浪エネルギー密度 $E (= \frac{1}{8} \rho g H^2)$ と波の群速度 C_g の積である．また、添字 b は砕波点の値であることを示す．さらに α_{bs} は汀線位置 y_s と次のような関係を持つ．

$$\alpha_{bs} = \alpha_b - \tan^{-1} \frac{\partial y_s}{\partial x} \quad \dots\dots\dots (3)$$

漂砂量係数 K は、CERC 式では 0.77 とされているが、現地の底質粒径や地形特性により異なるものと考えられ、現地の地形変化に合わせた値を設定することが望ましい．また、入力条件として与える波浪は、実際の場合は不規則波であることから有義波で与えることとなり、その場合には、エネルギー的に等価な波高に変換する必要がある(詳細は参考文献2)参照)．

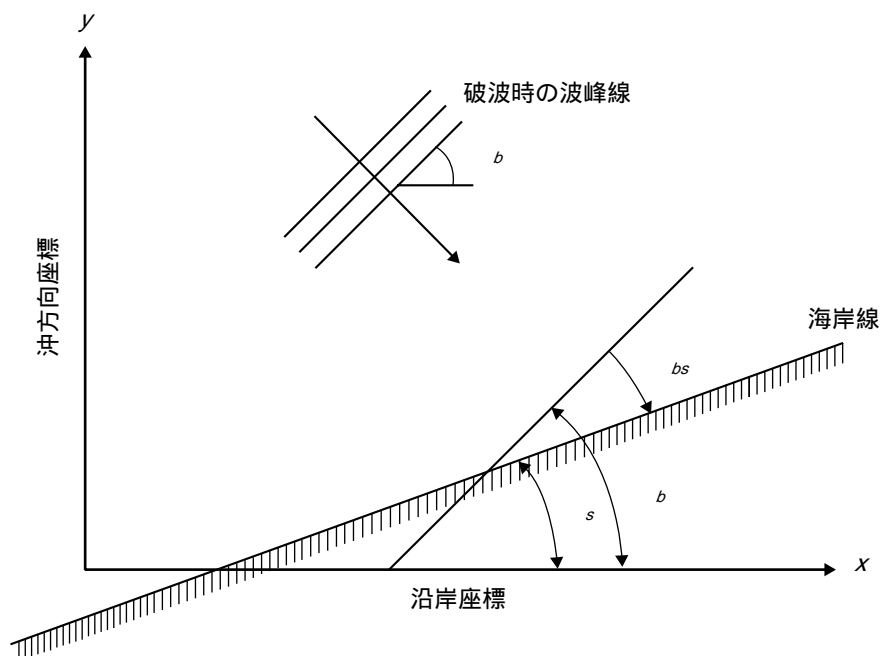


図2 波向の定義

(4) 漂砂移動高 D_s は、現地海浜の断面積変化量と汀線変化量の相関関係(1次式の傾き)より求めることが望ましい。ただし、両者の相関が悪い場合は、汀線の変動が岸沖漂砂に支配されている可能性が高いので、汀線変化モデルの適用には注意が必要である。

(5) 数値計算は、図3に示す計算フローにしたがう。波の場の計算においては、沿岸漂砂量を求めるために必要な碎波点での波高および波向を求める。一般的には、海底地形が汀線と平行な等深線地形であるとし、Snellの法則による屈折変形計算および浅水計算を実施する。波高 H および波向 α は、

$$H = K_s \cdot K_r \cdot H_0 \dots\dots\dots (4)$$

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{C}{C_0} \sin \alpha_0 \right) \dots\dots\dots (5)$$

で求められる。ここに C は波速であり、 K_s は浅水係数、 K_r は屈折係数で、

$$K_s = \sqrt{C_{g0} / C_g} \dots\dots\dots (6)$$

$$K_r = \sqrt{\cos \alpha_0 / \cos \alpha} \dots\dots\dots (7)$$

で与えられる。なお、添字0は沖波であることを示す。また、碎波位置は波高 H と水深 h の比 γ で判定するような簡易的方法で求めることができる。

$$H_b = \gamma \cdot h_b \dots\dots\dots (8)$$

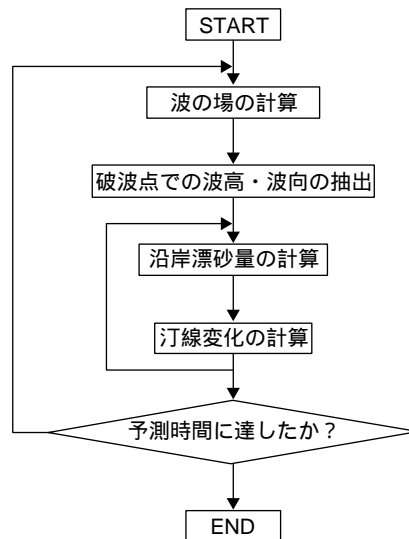


図3 汀線変化モデルの計算フロー

構造物が存在する場合には、状況に応じて回折計算を行う必要がある。各種構造物による波の変形計算については文献を参照のこと。さらに最近では、平面的な波浪場の計算結果から碎波点の波浪諸元を求めることも可能である。

(6) 汀線変化を数値的に計算する方法として、差分法を用いる。対象とする海岸線を等間隔の区間 Δx に分割し、また時間方向にもある時間間隔 Δt を用いることで、(1)式を離散化する。なお、時間方向の離散化には陽解法を用いる。

$$y_{si}^{n+1} = y_{si}^n - \frac{\Delta t}{D_s \Delta x} (Q_{i+1}^n - Q_i^n - \Delta x q_i^n) \dots\dots\dots (9)$$

ここに、 i は計算格子番号、 n は時間ステップを表す。図4に示すように汀線位置と漂砂量を定義する位置は半格子ずれており、同じ格子番号でも位置が異なることに注意を要する。

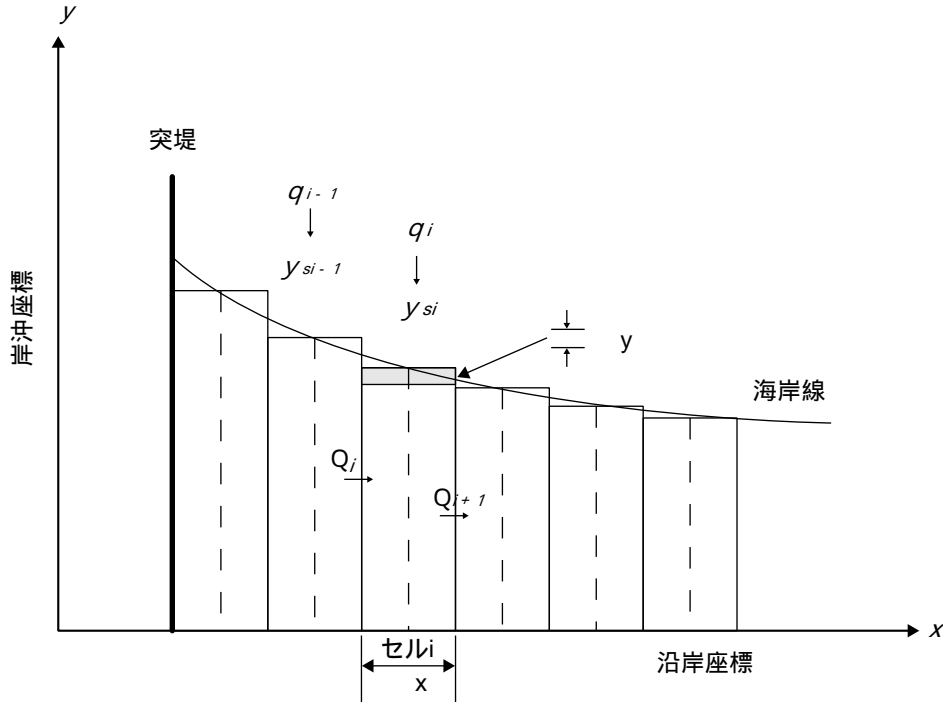


図4 計算座標および変数の配置

(6) 境界条件として、各種構造物および計算領域の両端部の処理が必要となる。この例題では、突堤が沿岸漂砂を完全に阻止するとし、突堤位置での沿岸漂砂は、

$$Q = 0 \dots\dots\dots (10)$$

とする。ただし、実際には突堤の先端水深が移動限界水深よりも浅い場合、あるいは突堤周辺の汀線が前進して突堤先端水深が浅くなってきた場合には、突堤を通過する沿岸漂砂量を適切に評価する必要がある。この場合も含めて、離岸堤などの構造物に対する処理については参考文献を参照のこと。また、両端の境界条件としては、汀線位置が変化しない固定境界とすると、

$$Q_b = Q_{b\pm 1} \dots\dots\dots (11)$$

境界での漂砂量の場所的変化量を外挿する、いわゆる自由境界とすると、

$$Q_b = 2Q_{b\pm 1} - Q_{b\pm 2} \dots\dots\dots (12)$$

となる。

(7) 上記の数値解法に基づいて作成したプログラムの内容については、添付のソースプログラム `oneline.for` (汀線変化予測計算) を参考されたい。このプログラムを実行し、画面の指示にしたがって波の条件 (波高, 周期, 波向および入射波を設定する水深), 海底勾配, 漂砂量係数, 漂砂の移動高, 左右端の境界条件, 計算対象とする海岸の延長, 突堤の位置, 計算時間および計算時間間隔を入力すれば, 時間的, 空間的な汀線の変化が求められる。なお, このプログラムでは, 入射波はある設定した水深位置での条件であることから沖波として与える場合は水深をその条件に適したように設定する必要がある。また, 計算格子間隔は海岸延長を 100 等分した長さとなるよう自動設定している。さらに, 計算時間間隔は, 時間方向の離散化に陽解法を用いていることから, 次式で求める時間間隔よりも短くなければ, 計算は発散してしまうことに注意が必要である。このプログラムでは t の目安として, 入射波設定地点での条件より求めた t の上限値を表示するようにしてある。

$$\frac{\Delta t K (EC_g)_b \cos 2\alpha_{bs}}{\Delta x^2 D_s} \leq 0.5 \dots\dots\dots (13)$$

【参考文献】

- 1) 小笹博昭・A.H. Brampton (1979): 護岸のある海浜のてい線変化計算, 港湾技術研究所報告, 第 18 巻, 第 4 号, pp.77-104。
- 2) 河田恵昭・柴山知也編集代表 (1998): 漂砂環境の創造に向けて, 土木学会海岸工学委員会研究現況レビュー小委員会。
- 3) 堀川清司 (1985): 海岸環境工学, 東京大学出版会。
- 4) Coastal Engineering Research Center (1977): Shore Protection Manual, U.S. Army Corps of Engrs., U.S. Govt. Printing Office, 3 Vols.
- 5) Hanson H. and Kraus N. (1991), GENESIS: Generalized model for simulating shoreling change, Report 1 Technical Reference, Dept. of the Army, US Army Corps of Engrg. Washington.