



海浜変形の Simulation とは？

出口 一郎*

1. はじめに

近年海岸に新しく構造物を建設する場合は、環境アセスメントの一環として、あらかじめ構造物が周辺海浜の地形変動に与える影響を予測することが要求されることが多い。従来、こうした予測は主として水理模型実験 (Physical model) あるいは数値 Simulation (Numerical model) によって行われてきた。しかし、たとえば関西新空港にみられるように、最近の海岸海中構造物はその規模が巨大化する傾向があり、その影響もより広範に及ぶ。このような場合、限られた大きさの実験水槽を用いる水理模型実験によって予測しようとする大縮尺模型を採用せざるを得なくなる。そうすると実験で用いるべき波浪及び海底底質材料は必然的に小さくなりすぎ、現地と模型における漂砂移動、海浜変形のための相似則が満たされなくなる。したがって最近特に海浜変形の数値 Simulation に対する重要性が増大している。

この数値 Simulation 法には、海浜地形をどこまでモデル化するかによっていくつかの方法があり、それぞれ適用限界がある。以下では従来行われている海浜変形の数値 Simulation 法の back ground となる考え方を紹介した後、その適用限界あるいは問題点について考察を加え、最後に現在われわれが研究をすすめている汎用性の高い Simulation 法について説明しておこう。

2. 従来の数値 Simulation 法について

従来の海浜変形に関する議論は、海岸における漂砂移動量の場所的な不均一さによって水深変化が生ずるといった考え方にしたがって、(1)式

に示される漂砂連続方程式に基づいて行われてきた。

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} \right) \quad \dots\dots(1)$$

なお、(1)式は汀線に平行 (沿岸) 方向に y 軸、 y 軸に直角沖方向に x 軸、鉛直上に z 軸をとった座標系におけるものであり、 h は水深 (鉛直下方を正)、 λ は海底における推積砂の空隙率で q_x 、 q_y はそれぞれ汀線に直角 (岸沖) 方向及び平行 (沿岸) 方向の局所漂砂移動量である。実際の海岸で考えると q_x は主として来襲波の水粒子運動によって起こされる岸一沖方向の漂砂移動量であり、 q_x が向岸方向の場合は汀線が前進、離岸方向の場合は汀線が後退し、いわゆる遠浅海岸が形成される。一方、 q_y は波が汀線に対して斜めに入射する場合に生ずる汀線に平行方向の流れ、いわゆる沿岸流によって輸送される漂砂量で、たとえば野付半島あるいは天の橋立の形成といった汀線に平行方向に広がりをもつ平面的な海岸変形を引起す原因となる漂砂量である。したがって海浜変形の子測対象となる全領域において局所漂砂量 q_x 及び q_y が与えられれば(1)式を解くことによって水深変化を計算することができる。しかし現在のところ任意形状の海岸に本質的に不規則な波浪が来襲した場合の岸沖漂砂量 q_x を定量化することは現象の複雑さから不可能である。したがって従来まず海浜変形の数値子測の対象としたのは沿岸漂砂 q_y による平面的な海浜変形である。すなわち(1)式を岸沖 (x) 方向に漂砂移動が生じている範囲で積分する。

ライプニッツの関係式及び積分の上下端における境界条件を考慮すると(1)式は次式のように変形される。

$$\frac{\partial}{\partial t} \int h dx = \frac{\partial}{\partial y} \int q_y dx$$

*出口一郎 (Ichiro DEGUCHI), 大阪大学, 工学部, 土木工学科, 講師, 工修, 海岸工学

上式左辺は $y=x$ という汀線に直角方向の鉛直断面における海浜断面積 A の時間変化, 右辺は汀線に平行 (沿岸) 方向に移動するある海浜断面を通過する全沿岸漂砂量 Q_y の汀線方向の勾配を表している. さらに断面積変化量 ΔA が汀線変動量 Δl に比例するような場合には, 比例定数を K として上式は

$$\frac{\partial l}{\partial t} = \frac{1}{K} \frac{\partial Q_y}{\partial x} \quad \dots\dots\dots(2)$$

と変形することができる. (2)式において K が時間的, 空間的にほぼ一様とみなせる場合は海浜全体の変形を汀線の変動のみで代表して表現することができることから, (2)式に基づく海浜変形予測法は one-line-theory と呼ばれる. すなわち one-line-theory に基づいて海浜予測を行うためには K が一定であることと Q_y が精度よく推定されるということが必要条件となる. このうち, 前者は one-line-theory の適用範囲にかなり強い制約条件を与える. 特に海岸構造物近傍において来襲波浪特性が強制的に変化させられ, 局所的に強い海浜流が発生する領域あるいは来襲波浪特性が時間的に極端に変化する海域においては明らかに K は普遍的な定数とはみなせなくなる. 一方, 後者の Q_y に対しては幸い古くから数多くの実測あるいは実験データが蓄積されており, 来襲波浪特性の変化に対しても比較的敏感な Q_y の定量化が可能である. したがって, 従来の環境アセスメントにおける海浜変形予測はほぼすべてこの one-line-theory によって行われており, 先に述べた関西新空港計画の環境アセスメントにおいてもこのモデルが用いられている. 以上の考察より明らかかならに, one-line-theory においては岸沖漂砂 q_x による海浜断面変形は全く無視されている. したがって水深変化の予測が要求される場合, あるいは(2)式中の K が一定とみなせない場合の海浜変形予測を行うには先に述べたように(1)式に適切な局所漂砂量 q_x 及び q_y を与えなければならない. したがって局所漂砂量の定量化にあたってはここ数年来数多くの研究者によって勢力的な研究が行われてきたが, 現在のところまだ普遍性のある結果は得られていない. しかし, たとえ局所漂砂量が与えられた場合に

においても, (1)式には海底の移流分散効果あるいは乱流拡散効果が含まれていないために, 河川から海域に流出する漂砂あるいは海中投棄された土砂による水深変化は計算することはできない. したがってこのような場合に対しては(1)式以外に source から供給された土砂の拡がりあるいは沈降を表す新たな連続式を付加しなければならない. そこでつぎに移流分散, 乱流拡散過程も含めて表現できる汎用性の高い漂砂連続式に基づく海浜変形 simulation 法について述べておく.

3. 新しい海浜変形予測法

(1)式と同じ座標系で海中任意点 (x, y, z) における漂砂連続方程式は, 漂砂漂度を c , 漂砂移動速度を u_s ($u_s = (u_s, v_s, w_s)$) とすると次式で表される.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t} (cu_s) + \frac{\partial}{\partial y} (cv_s) \\ + \frac{\partial}{\partial z} (cw_s) = 0 \quad \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

(3)式における漂砂フラックスの変動成分に対して拡散型の表現をし, 鉛直方向に水底 $z = -h$ から自由表面 $z = \eta$ まで積分すると次式が得られる.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \bar{u}_s \bar{r} \bar{c} = S + T \\ S = \bar{r} \cdot h \cdot \left\{ r \frac{h}{u_s} \cdot \bar{u}_s \cdot (\bar{u}_s \cdot \bar{r} c) \right\} \\ T = \bar{r} (\xi \bar{r} \bar{c}) \quad \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

ここには水深にわたる平均値 \bar{r} は漂砂移動速度の鉛直分布から決定される定数, ξ は漂砂濃度の拡散係数であり S 及び T はせん断効果及び乱流拡散効果を表現する項である. さらに海底推砂の濃度を c_b とすると(4)式の左辺第一項は $\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\int c dz / (h + \eta) \right) = -c_b \cdot \frac{\partial h}{\partial t} / (h + \eta)$ と変形される. この関係を(4)式に代入すると水深変化に対する移流分散及び乱流拡散効果も含んだ方程式が次のように得られる.

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{c_b} (\bar{u}_s \cdot \bar{v} \bar{c} - S + T) \quad \dots\dots\dots(5)$$

(5)式を用いると通常の場合における漂砂及び河口からの流出上砂に対しては境界条件として,

また瞬間的に海中投棄された土砂に対しては初期条件としてそれぞれ濃度を与えることによりそれらすべての効果の一つの方程式の中に入れて水深変化を計算することができる。

以上で考察した3種類の連続方程式に基づく数値 Simulation 法の比較を右表にまとめて示しておく。

なお、現在(5)式に基づいて関西新空港周辺の海浜変形に対する数値 Simulation を試みてい

連続方程式	未知数	入力	備考
(1)式	汀線変動量	Q_y (全沿岸漂砂量)	$4A \propto 4l$ が成立しなければならない
(2)式	水深変動	q_x, q_y (局所漂砂量)	移流分散乱流拡散過程が考慮されない
(5)式		\bar{c} (断面平均漂砂濃度)	汎用性大

るところであり、その結果についてはまた後日何らかの方法で発表する予定である。



限りある資源を大切に……
の姿勢を守るDNT

現在は、“鉄の文明”と評され、今日の世界から鉄を無くしたら、恐らく一切の文化は終息するだろうといわれています。
DNTは、創立の礎となった重防食塗料「ズボイド」を通じて既に半世紀近く私たちの大切な鉄を守りつづけてきました。
そして、これからもDNTはズボイドを生みだした重防食技術をベースに、独自の技術開発を進め、さらに、海外の優れた技術と協力しあって、より優秀な重防食システムとして結合させ、限りある資源を守りつづけていきます。

●創造と調和をめざす●



DNT
大日本塗料

●大阪市此花区西九条6-1-124
〒554 ☎(06)461-5371(大代)
●東京都千代田区丸の内3-3-1
〒100 ☎(03)216-1861(大代)