

ハイブリッドモデルによる新しい海浜変形予測手法の提案

九州大学大学院 学生員○小野信幸
九州大学工学部 正会員 入江 功

1. はじめに

近年、沿岸域の高度利用に伴い、豊かな砂浜を造成し、かつそれを保持する新たな技術が求められている。また、将来予想される海面上昇による海岸侵食に対して効果的な工法を検討しなければならない。

そのためには、砂の移動機構を解明するのは勿論のこと、養浜や海面上昇等の外力条件の変化に対する海浜の応答特性や、その際生じる砂の流出に対する有効な対策工法について種々の工法を比較検討する必要がある。その手段として、移動床模型実験と数値シミュレーションの2つが挙げられる。それぞれの長所と短所を挙げると、前者は漂砂現象の全てが含まれているが、対策工の効果を比較検討する際、再現性の問題(同じ実験を行っても断面形状等が全く同じ状態を得ることはできない)がある。後者は再現性は確保されるが、漂砂現象の全てを組み込むことが困難である。

そこで本研究では、模型実験と数値シミュレーションを対応させることで、お互いの長所を取り入れた海浜変形モデルの構築を試みる。これにより、海浜変形モデルには直接組み込むことが困難な現象(例えば、砂れん後流渦に巻き込まれた砂の移動等)も、模型実験から情報を得ることで実際に近い現象をモデルに組み込むことができる。このようにして漂砂に関わるできるだけ多くの現象を組み込んだハイブリッドモデルを構築し、数値モデル上の砂移動と移動床模型実験上の砂移動との現象的整合性を確認する。その上で、対策工の比較検討を行い、最適工法の選定を可能とすることが本研究の最終的な目的である。

2. 海浜変形モデルの構築

2.1 砂れん存在下の底質移動のモデル化

本研究でモデル化する現象は室内規模の実験の漂砂現象である。その海浜断面には砂れんが存在し、それは岸沖漂砂に対して重要な役割を持っていると思われる。以下、モデルに取り込んだ現象で特に砂れん存在下の底質移動について説明する。

1) 掃流砂と浮遊砂の分離

砂れん上の砂の移動機構は、図-2に示すように、砂れん頂部をせん断された砂の内、そのまま下流側の海底に落ちる分(掃流移動分)と、巻き込み率 r で砂れん後流渦に巻き込まれ、反転する流れに乗って移動する分(浮遊移動分)の2つがある。ここで、 r は掃流砂と浮遊砂の量的割合を表すもので、実験的に求める。

2) 個々の移動機構に対する砂移動

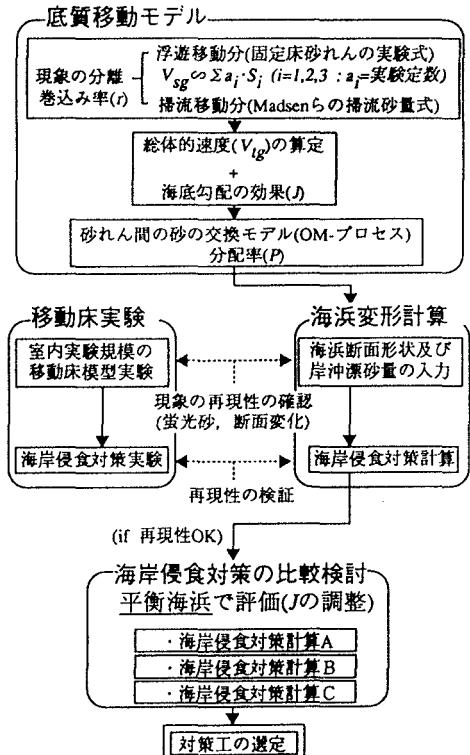


図-1 対策工選定のフロー

特に浮遊移動分についての砂の挙動は、現象が複雑でこれを直接モデルに取り込むのは現在のところ困難である。そこで、本研究では、ある波浪条件によって形成される砂れんと同じ形状特性をもつ固定床砂れん上に置かれた砂の移動を定式化することによって、これを取り入れた(入江ら, 1993)。固定床砂れん上の砂の移動速度 V_{sg} は、図-2中の記号を用いて、波形の上下の非対称($S_1=(H_c-H_t)/H$)、前後の非対称($S_2=(L_r-L_f)/L$)及び砂れん形状の前後の非対称($S_3=(\lambda_r-\lambda_f)/\lambda$)の3つの要素に主に関係する。また、固定床と移動床で大きく異なるのは、砂れん上の浮遊砂濃度であり、これは柴山ら(1993)による浮遊砂濃度分布を鉛直方向に積分して V_{sg} で移動する砂の量 Q_s を求める。

掃流移動分については、Madsen・Grant (1976) による $\phi(t)=40\psi^3(t)$ ($\phi(t)$: 無次元漂砂量, $\psi(t)$: Shields

数)を用い、底面流速波形の非対称性を考慮して、半周期で岸向き及び沖向きに移動する底質の分布形状を別々に求める。この時、 r の割合で後流渦に巻き込まれる砂は、浮遊移動に寄与するとして、これを差し引く。

3) 総体的速度の導入

本モデルでは、一つの砂れんに着目し、その砂れんからある量の砂(波の一周期間で移動に寄与する量 Q)がその平均的な移動速度(重心移動速度 V)で掃流・浮遊それぞれの機構で移動するとしている。次に、これらの全量 Q_t の移動速度 V_{tg} を個々の移動機構に対する総体的速度として次の様に定義する。

$$V'_{tg} = (Q_{bgon}V_{bgon} + Q_{bgoff}V_{bgoff} + Q_sV_{sg})/Q_t \quad (1)$$

ここで、 $Q_t = Q_{bgon} + Q_{bgoff} + Q_s$ である。添字(bgon, bgoff)は、岸・沖それぞれの掃流移動分を表す。(1)式中の V'_{tg} は、海底勾配がゼロの場合の総体的速度である。

実際の海浜には勾配があり、沖向きに砂が移動し易くなる効果があると考えられる。この効果を V'_{tg} を補正することにより次の様に取り込む。

$$V_{tg} = V'_{tg} + J \cdot \sin\theta \quad (2)$$

ここで、 θ は海底の傾斜角、 J は海底勾配効果の補正速度と定義する。 J は海浜の変形量から算定される量で移動床実験結果から求める。

4) 底質の交換過程

砂れん後流渦内では、隣合う砂れん間で底質の交換が行われている。この現象を取り入れるため、次の様な計算プロセスを用いる。まず、1つの砂れんについて、時刻 t において Q_t の量の砂が左右均等に分配率 P で水粒子軌道全振幅 d_0 の範囲に分散すると考える。これが形を変化させずに移動速度 V_{tg} で移動するものとし、一周期後($t+T$)に各砂れんに再分配する。このプロセスが生起する箇所(砂れん)を乱数を用いて選択し、海底に存在する全ての砂れんに対し、重複することなく施して波の一周期分の完了とする。この一連のプロセスをOM-プロセス(Oscillatory Movement Process)と呼ぶ。OM-プロセスによって、底質の平均的な移動と隣合う砂れん間の底質交換の過程を再現することができる。分配率 P は、底質が分散する様子が固定床実験と最も整合性のよい $P = 0.1$ とする。

2.2 平衡断面特性の概念

自然の海浜は、その海浜固有の波の特性に応じて形成されており、一般に長期的には地形が安定していると考えられる。このような安定した海浜に、養浜や海面上昇等のインパクトが生じると、海浜は新たな平衡状態に向かって変化する。このようなインパクトの影響を調べるには、まず海浜の平衡状態を再現する必要があると思われる。

しかし、移動床実験において、ある一つの特性の波に対する平衡断面を得ることは容易ではない。そこで、数値モデルに対する入力条件として、移動床実験時の海浜断面形状と漂砂量分布を用い、その際の数値上の底質移動が、移動床の底質移動と同じ特性を持つこと

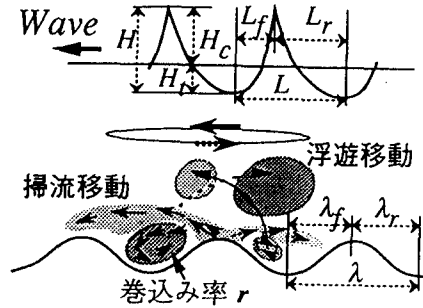


図-2 砂れん上の底質移動の模式図

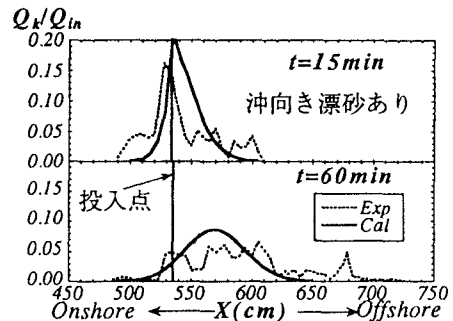


図-3 蛍光砂移動状況の比較

を確認する。その上で、漂砂量が海浜断面の全ての場所においてゼロの状態(海浜断面平衡状態)を数値上再現する(モデル上では J の値を調整)。このように、数値上で平衡断面を再現するより、海浜に対するインパクトの影響の抽出が容易になると考えられる。

3. 蛍光砂移動の比較

図-3は、移動床実験で沖浜帯に投入された蛍光砂の移動の様子を、断面形状と漂砂量を等しくし、本モデルで数値シミュレーションした結果である。計算結果と実験結果を比較すると、蛍光砂の平均的な移動や分散状況等がほぼ対応していることが示される。

4. おわりに

本モデルでは、以上のような底質移動に必要な様々な情報を取り入れることにより、室内実験での現象と数値上の現象を対応させることができる。本モデルを用いて、人為的インパクトに対する海浜の影響や海岸侵食対策工の評価が可能になると思われる。

参考文献

- 入江ら(1993): 至み砂れんマットによる沖浜帯の岸沖漂砂の制御, 海岸工学論文集, 第40巻, pp.561-565.
- 柴山ら(1993): 碎波帯を含む浮遊砂濃度の鉛直分布の評価, 海岸工学論文集, 第40巻, pp.306-310.
- 小野ら(1996): 海底の傾斜に伴う砂れん間の砂分散量の差を考慮した底質移動モデル, 海岸工学論文集, 第43巻, pp.466-470.
- Madsen, O. S., and W. D. Grant (1976): Quantitative description of sediment transport by wave, Proc. 15th Coastal Eng. Conf., ASCE, pp. 1093-1112.