

II-89

押し波・引き波を考慮した一様斜面上での津波土砂移動モデル

東北大学大学院 学生員 ○菅原正宏

東北大学大学院 正会員 今村文彦

1. はじめに

津波堆積物は過去の歴史津波に関する物証として注目されている。津波の流れは大きく、底面に働くせん断力が大きいので浮遊砂が卓越し、大量の土砂を移動させると言われる。しかし、津波堆積物に関する研究は地学的な現地調査が主であり、津波の水理量と堆積層形成に関する検討は不十分である。本研究では、津波を対象とした一様斜面上での土砂移動実験（著者ら、2003）をふまえ、既往の津波土砂移動モデル（高橋ら、1999）を適用し実験結果の再現計算を試みた。水理実験は、押し波による堆積過程と引き波による侵食過程の分離を試みており、各過程における移動砂量を堆積砂量、残存砂量と定義しモデルにより計算される同移動砂量に関して、実験値と計算値の比較した。さらに、既往の実験式を考慮し、モデルに用いた交換砂量式、掃流砂量式について、本実験に対応する両式の検討を行った。

2. 土砂移動モデル

一般的に流水中の流砂の形態は、掃流状態で移動するものと浮遊状態で移動するものに分けられる。実際の現象では明瞭な境界は設けられないが、高橋ら（1999）は流砂現象を掃流砂層と浮遊砂層の2層に分離し、両層間の砂の交換は交換砂量として新たに定義したモデルを提案している。掃流砂量式に関してさまざま既往の研究はあるが、それは主に河川流を対象としている。そこで、高橋ら（1999）は津波を対象とした掃流砂量式および交換砂量式は水理実験により導出している。モデルの支配方程式を式(1)から式(3)に示す。計算条件として、床の条件は固定床であり、Staggeredに格子を配置して、流れの方向に濃度が移動することを考慮して風上差分を用いた。空間格子間隔は2.5cm、時間格子間隔は0.001秒で計算を行った。

3. 既往モデルによる計算結果

土砂移動モデルを用いて、著者ら（2003）による水理実験について再現計算を試みた。実験では押し波による堆積砂量は斜面全体に広がり、それを引き波が侵食することにより残存砂として斜面下方に引き戻されるという結果を得た。図1の計算結果を見るとこのような引き波による侵食はみられるが全体的な移動砂量としては過小評価傾向が見られる。堆積砂量に着目すると斜面突入直後のピーク値は再現

<流水に関する支配方程式>

$$\begin{cases} \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M |M| = 0 \end{cases} \quad (1)$$

<土砂移動に関する支配方程式>

$$\begin{cases} \frac{\partial Z_B}{\partial t} - \frac{1}{1-\lambda} w_0 \bar{C} = 0 \\ \frac{\partial \bar{C}M}{\partial x} + w_0 \bar{C} + \frac{\partial \bar{C}D}{\partial t} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

<交換砂量式・掃流砂量式>

$$\begin{cases} w_{ex} = 0.012 \sqrt{sgd} \tau_*^2 - w_0 \bar{C} \\ q_{Bx} = 21 \sqrt{sgd^3} \tau_*^{3/2} \\ \tau_* = \frac{u_*^2}{sgd} \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 η は水位、 M は線流量、 D は全水深、 n はManningの粗度係数、 $\bar{C}$ は断面の平均浮遊砂濃度、 w_{ex} は交換砂量、 λ は空隙率、 Z_B は堆積厚、 q_{Bx} は掃流砂量、 w_0 は砂粒の沈降速度であり Rubey の式を用いている。 τ_* はシールズ数、 u_* は摩擦速度である。

されているがその量は計算値が大きく下回っている。残存砂量に着目すると計算値の侵食量は実験値に比べて小さくなる結果を得た。

4. 交換砂量式・掃流砂量式に関する検討

本モデルでは式(3)の扱いが最も重要となる。そこで、モデル中の交換砂量式、掃流砂量式に関して、以下のようにパラメータを仮定し、水理実験の結果に対応するパラメータの検討を行った。

$$\begin{cases} w_{ex} = \alpha \sqrt{sgd} \tau_*^2 - w_0 \bar{C} \\ q_{Bx} = \beta \sqrt{sgd^3} \tau_*^{3/2} \\ \tau_* = \frac{u_*^2}{sgd} \end{cases} \quad (4)$$

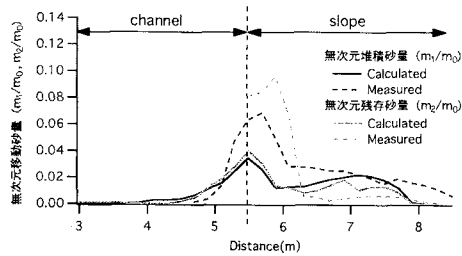


図1 既往モデルによる計算値と実験値

表1 パラメータの検討範囲

α	0.003	0.012	0.021	0.003	0.012	0.021
β	21	21	21	31	31	31

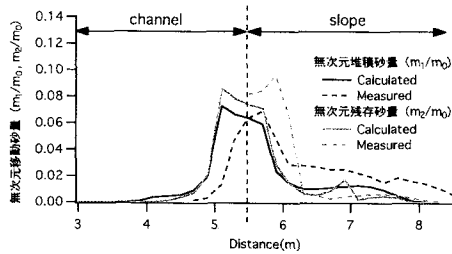


図2 パラメータの検討結果

高橋ら(1999)の水理実験、既往の掃流砂量式に関する研究をふまえ、変化させるパラメータの上下限値を設定した(図3, 4)。検討範囲は表1に示した通りである。そして、移動砂量を計算し実験値との誤差を算出した。ここで、誤差の計算として以下の式を用いた。

$$Error = \frac{\sum |m_{exp} - m_{cal}|}{\sum m_{exp}} \quad (5)$$

m_{exp} , m_{cal} はそれぞれ無次元移動砂量の実験値および計算値である。パラメータの組み合わせそれぞれについてタンク水深3通りで検討を行った。この場合、タンク水深30cmに着目すると、堆積砂量に関しては $\alpha=0.012$, $\beta=31$ の場合、誤差が最小となり、残存砂量に関しては、 $\alpha=0.003$, $\beta=31$ の場合、誤差が最小となる。

どちらの場合も β を増加させることにより誤差が最小となり、高橋ら(1999)による既往の実験式と比べると、掃流による移動を大きくした結果で本実験に合致したことになる。流れに大きな乱れを含む津波に対する掃流砂量式は、河川流を対象としたものよりも β を大きな値にする必要がある。津波はシーلز数が最大で10を超える事も考えられ、本実

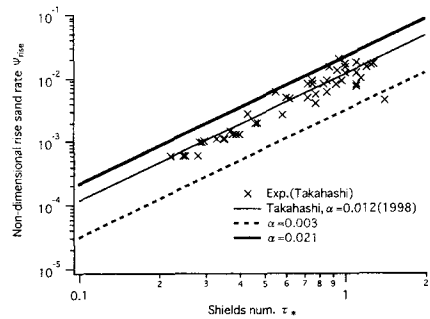


図3 α の検討範囲

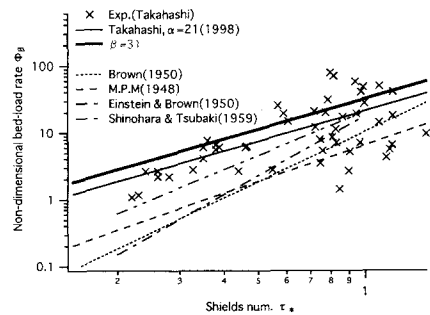


図4 β の検討範囲

験でも最大で3程度の流れを実現している。河川流では津波よりも1から3オーダーほど小さいと考えられる。シーلز数の検討範囲も留意する必要がある。ここで、図2はタンク水深30cmの $\alpha=0.012$, $\beta=31$ とした場合の移動砂量の空間分布である。

5. おわりに

モデルの支配方程式中のパラメータを修正することにより実験値でみられるような堆積・侵食に関する傾向は表現された。しかし、その量に関しては今後、交換砂量式、掃流砂量式の検討を行い、モデルの適用性・限界等の議論の必要がある。既往の掃流砂量式をふまえて、パラメータの検討範囲を決定し、その中における誤差が最低となる値を探索必要がある。

6. 参考文献

- 高橋智幸・首藤伸夫・今村文彦・浅井大輔(1999): 掃流砂層・浮遊砂層間の交換砂量を考慮した津波移動床モデルの開発, 海岸工学論文集, 第46巻, pp.606-610.
- 菅原正宏・大窪慈生・菅原大助・箕浦幸治・今村文彦(2003): 津波により一様斜面上を移動する土砂および津波石に関する水理実験, 海岸工学論文集, 第50巻, pp.266-270.
- 後藤仁志(2004): 数値流砂水理学, 森北出版, 223p.