

土砂粒径を考慮した津波による土砂移動数値モデルの検討

東北大学大学院 学生員○ 福田裕司
 東北大学大学院 後藤和久
 東北大学大学院 正員 今村文彦

1. はじめに

長周期波である津波の持つ掃流力は大きく、大量の海底土砂を巻き込んで内陸へと遡上することがある。こうして堆積した土砂は津波堆積物と呼ばれ、長い年月地層中に残存することから、過去の津波を知る手がかりとして期待されている。この津波堆積物の形成過程を再現するため、菅原(2005)は、高橋ら(1999)の津波土砂移動モデルを用い、水理実験結果との比較を行った。しかし、計算モデルでは堆積、浸食作用ともに十分再現されない結果となった。これは、計算モデルでの土砂粒径の取り扱いが原因の一つであると考えられる(福田ら,2006)。そこで、本研究では、土砂粒径を考慮することで計算の再現性がどのように向上するか検討する。

2. 土砂移動モデル

2.1 段波の流水計算

計算対象領域を図1に示す。段波の流れに関する計算には一次元浅水理論を適用し、 x 軸方向に1cm、 t 軸方向には0.0005秒に格子間隔を区切って計算を行った。段波の初期条件として、タンク部の水深を30cm、水路部の水深を1.2cmとした。結果の一例を図2に示す。図2の流速はゲートから510cm離れた位置での時系列データである。流速は良好に再現されており、計算モデルは水理実験で生じさせた段波の流れを良く再現していると言える。

2.2 土砂移動モデル

本研究では、掃流砂層と浮遊砂層を概念的に分けた計算モデルを用いた(図3、高橋ら,1999)。このモデルでは、掃流層と浮遊層間に交換砂量式を設けることにより、流れによって巻き上げられる土砂量についても考慮できる。支

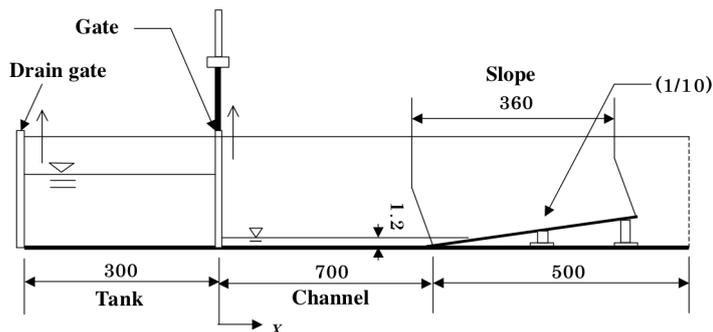


図1 計算の対象とした水槽の概要図

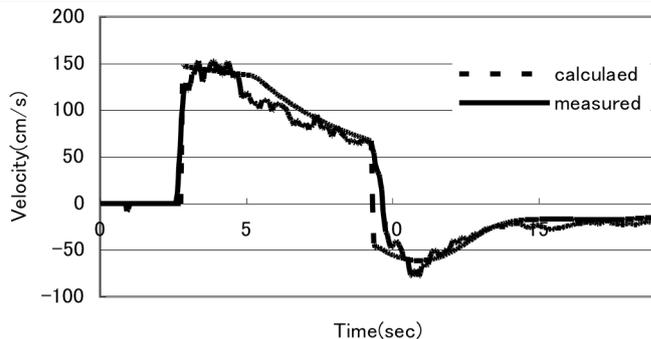


図2 水理実験と計算モデルによる段波の流速時系列変化

配方程式は(1)式に示した。

$$\begin{cases} \frac{\partial Z_B}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial q_B}{\partial x} + w_{ex} \right) = 0 \\ \frac{\partial \bar{C}M}{\partial x} - w_{ex} + \frac{\partial \bar{C}D}{\partial t} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 Z_B は掃流砂の層厚、 C は平均浮遊砂濃度、 M は線流量、 λ は空隙率、 D は水深である。また掃流砂量 q_B 及び交換砂量 w_{ex} は(2)、(3)式で示す。

$$q_B = 21\sqrt{sgd^3} \tau_*^{3/2} \quad (2)$$

$$w_{ex} = 0.012\sqrt{sgd} \tau_*^2 - w_0 \bar{C} \quad (3)$$

ここで、 w_0 は沈降速度、 s は水中比重、 τ_* はシールズ数である。この掃流砂量式及び交換砂量式に使われている係数や乗数は、高橋ら(1999)が水理実験を行い津波に適用できるように定めたものである。

投入土砂の総重量は水理実験と同じ1200gとし、給砂方法はゲートから300cm離れた位置に堆積厚 $Z_B=0.39$ cmを敷き詰める場合(実験と同じ条件)と、タンク部に浮遊砂濃度 $C_s=0.00171$ を初期条件として与えた場合について計算を行った。また、土砂の粒径は150, 550 μm として計算した。

2.3 計算結果及び考察

計算結果を図4, 5に示す。水理実験に即して土砂を堆積厚として初期に与えた場合、ほぼすべての土砂が斜面上方まで運ばれていることが分かる(図4)。水理実験結果(図6)と比較すると、堆積砂の空間分布傾向が大きく異なっている。これは、水理実験では土砂は表面から徐々に削られて

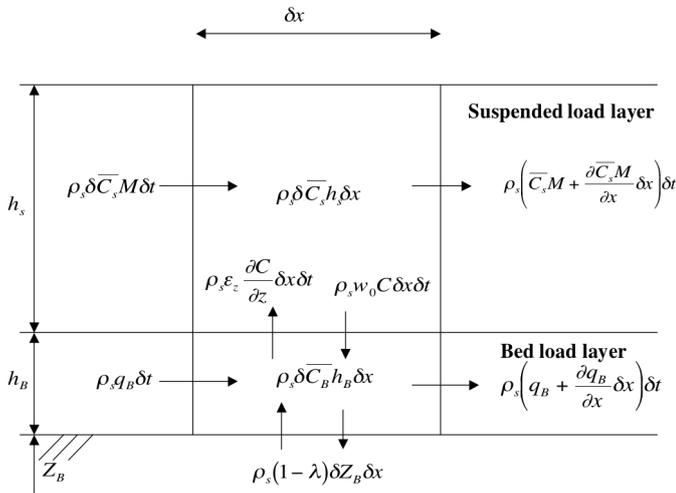


図3 土砂移動モデルの概念図(高橋ら, 1999)

運ばれるのに対し、計算では津波の先端において強い掃流力が働き、斜面上部までほぼすべての土砂を運んでしまうためと考えられる。次に、土砂をタンク内の浮遊砂濃度として与えた場合(図5)、実験結果と同様に斜面開始点付近に堆積量のピークが見られるなど、実験に即した初期条件で行った場合の空間分布(図4)よりも比較的分布傾向が類似している。しかし、実験では粒径が小さくなるほど浮遊砂が卓越し、斜面上部に砂が多く運ばれているのに対し、計算では粒径が大きくなるに従って運ばれる土砂量が増加している。これは、(2)式で定めている掃流砂量が粒径とべき乗則であるためである。すなわち、計算上では粒径が大きくなるほど、掃流砂で運ばれる土砂量が過大に増加してしまい、斜面上部へと砂が輸送されてしまうのである。福田ら(2006)の実験では、粒径が小さくなるほど土砂の輸送量が増加する傾向を示しており、この点を改良することが今後の課題である。

また、実験では押し波のみ作用した最大遡上時において斜面部に運ばれている土砂総量の方が、引き波が作用した一波作用時の土砂総量より多い。これは、引き波によって斜面上の土砂が浸食され、再運搬されるからである。一方、計算結果では一波作用時の土砂総量のほうが多い。この原因はまだ不明であるが、計算モデルでは引き波時に生じる浸食量が実験よりも小さく見積もられている可能性が考えられる。そのため、一度斜面上に遡上した土砂が、引き波により斜面下部にあまり運ばれなかったことが原因の一つと考えられる。これらは、巻き上げ量と輸送量、さらには沈降量のバランスが関係しており、今後の課題である。

3. おわりに

今回の計算結果から、実験を再現できる土砂の供給方法と土砂移動モデル内で土砂粒径を反映した掃流砂式を定め

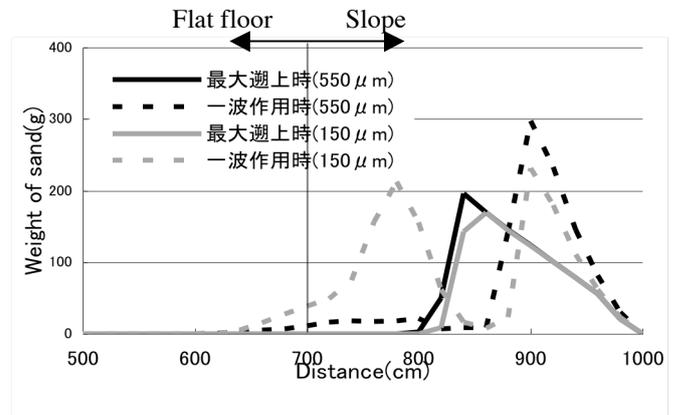


図4 初期条件を堆積厚で定めたときの計算結果

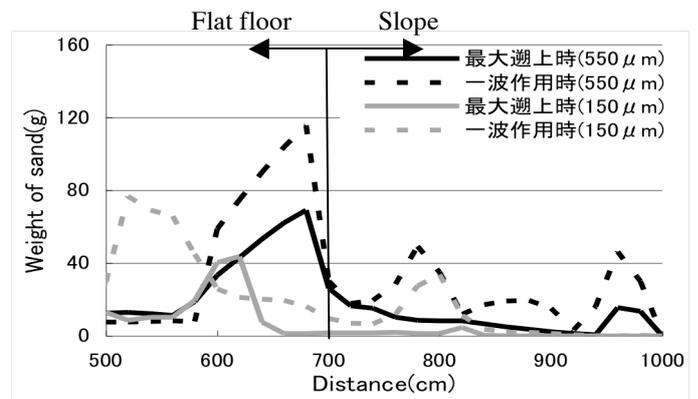


図5 初期条件を浮遊濃度で定めたときの計算結果

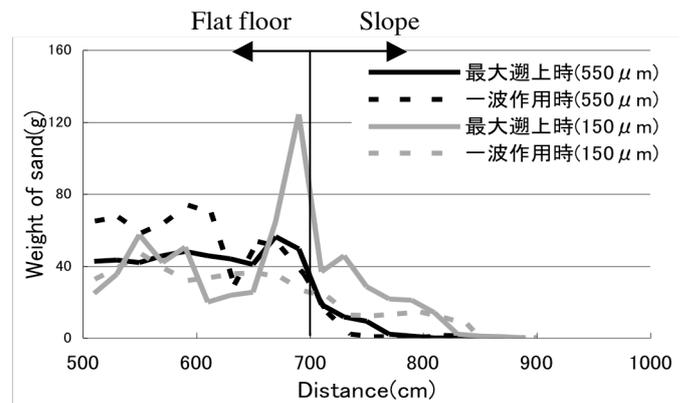


図6 福田ら(2006)の水理実験結果

ることが必要であることが分かった。今後、これらの課題を解決し、まずは水理実験を良好に再現できる土砂移動モデルの構築を目指す予定である。

参考文献

- 高橋智幸ら(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(2005) 一様斜面上での津波堆積層形成に関する研究, 東北大学大学院工学研究科修士論文.
- 福田裕司ら(2006): 津波による土砂移動の水理実験と数値解析の現状, 月刊地球, 第28号, pp.563-567