

II-54

土砂による津波発生に関する基礎検討

 東北大学工学部 学生員 ○後藤大地
 東北大学大学院 正会員 今村文彦

1. はじめに

土砂流による津波発生・伝播については、松本ら(1998)により提案された二層流モデルを用いた数値解析が行われてきた。そこでは、解析解や実際の津波事例への適用によりモデルの妥当性の検討がなされてきたが、土砂突入による発生に関しては、詳細な検証は行われていない。

そこで、本研究は、土砂流突入による水理実験結果を参考に、2層流モデルの適用性を調べることを目的とする。特に、土砂流に関して底面摩擦と拡散項の効果、津波との相互に働く界面抵抗の効果などは十分検討されていない。ここでは、それらのパラメータスタディを実施し、効果の重要性を議論する。

2. 実験方法と設定条件

可変傾斜式の土砂発生用二次元水路を設置し、水路上流に設置された給砂装置から突入物質を流下させ、土砂流を水中に突入させることにより津波が発生する。突入物質は4号珪砂で比重2.6、重量30kgであり、また傾斜路は滑面で角度は30°で行った。水位変化は高速容量式波高計（（株）KENEK社製）を傾斜路水切り位置から0.5m、1.0m、2.0mに設置して時間波形を測定し、デジタルビデオカメラで水路全体流況を撮影することにより時間毎の空間波形を測定した。図1に実験装置を示す。

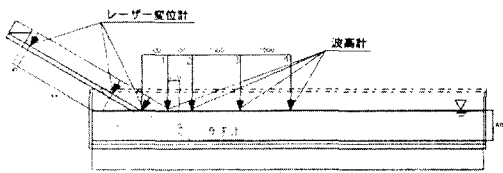


図1 実験装置図

3. 数値モデルと支配方程式

松本ら(1998)による2層流モデルの支配方程式

に今回検討する項目を加えたモデルを以下に示す。

上層（津波の発生・伝播）

$$\frac{\partial(\eta_1 - \eta_2)}{\partial t} + \frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial N_y}{\partial y} = 0 \quad \cdots(1)$$

$$\frac{\partial M_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M_x^2}{D_1} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{M_x N_y}{D_1} \right) + g D_1 \frac{\partial \eta_1}{\partial x} - INTF_x = 0 \quad \cdots(2)$$

$$\frac{\partial N_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M_x N_y}{D_1} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N_y^2}{D_1} \right) + g D_1 \frac{\partial \eta_1}{\partial y} - INTF_y = 0 \quad \cdots(3)$$

下層（土砂流）

$$\frac{\partial \eta_2}{\partial t} + \frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial N_y}{\partial y} = 0 \quad \cdots(4)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial M_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M_x^2}{D_2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{M_x N_y}{D_2} \right) \\ & + g D_2 \left(\alpha \frac{\partial D_2}{\partial x} + \frac{\partial \eta_2}{\partial x} - \frac{\partial h}{\partial x} \right) \\ & + \frac{g n^2}{D_2^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} + INTF_x = \nu \left(\frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M_x}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad \cdots(5)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial N_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M_x N_y}{D_2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N_y^2}{D_2} \right) \\ & + g D_2 \left(\alpha \frac{\partial D_2}{\partial y} + \frac{\partial \eta_2}{\partial y} - \frac{\partial h}{\partial y} \right) \\ & + \frac{g n^2}{D_2^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} + INTF_y = \nu \left(\frac{\partial^2 N_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N_y}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad \cdots(6)$$

ここで、添え字の1, 2はそれぞれ上層（海水）、下層（土砂流）を示し、 h ：水深、 η_1 ：静水面からの水位変化量、 η_2 ：土砂流の厚さ、 M 、 N ：流量フラックス、 ρ ：密度、 $\alpha = (\rho_1 / \rho_2)$ ：密度比、 $\nu = \mu / \rho_2$ ：土砂流の水平拡散係数、 D ：全水深、 n ：底面摩擦係数、 $INTF$ ：界面抵抗力を示す。

界面抵抗力の算定には次式を用いる。

$$INTF_x = f_{inter} \sqrt{u^2 + v^2} \quad (x \text{ 方向}) \quad \cdots(7)$$

$$INTF_y = f_{inter} \sqrt{u^2 + v^2} \quad (y \text{ 方向}) \quad \cdots(8)$$

ここで f_{inter} は界面抵抗係数である。

4. 検討方法

水理実験結果を2層流モデルで再現計算する上で重要となるのは土砂流の挙動とそれによる津波の発生メカニズムである。これらは、2層流モデル中の各項の係数の値に影響される。これらの係数の一般現象へ適用できる定式化はいまだ成功していない。しかしながら、どの項がどのような段階にどの程度に影響するかを評価することは、大変重要である。そこで本研究では各係数に対してパラメータスタディを行った。表1に示すように、3種類の係数に対して変化させて、結果の違いを議論した。またそれぞれの比較結果について図2～図4に示す。

表1 比較ケース

ケース名	底面粗度 n (s/m ^{1/3})	水平拡散 ν (m ² /s)	界面抵抗 f_{inter}
A-1	0.08	0.01	0.0
A-2	0.10	0.01	0.0
A-3	0.12	0.01	0.0
B-1	0.12	0.02	0.0
B-2	0.12	0.03	0.0
C-1	0.12	0.01	0.05
C-2	0.12	0.01	0.2

5. 比較結果と考察

図2より、底面摩擦係数が小さいほど土砂の流下速度が速くなり、それに伴い発生する津波の波高が増大することが分かる。底面摩擦は土砂の流下速度を左右する事が分かった。今回は滑面水路を用いているので、本来の底面粗度は極めて小さいはずであるが、妥当な係数として0.12と大きな値となった。土粒子間の底面での混合によるせん断力を含んでいたことを示してゐる。

次に図3の結果より、拡散係数が大きいほど土砂の流下速度が遅くなり、さらに、土砂流の形状を薄い層状にさせる傾向がわかった。薄い土砂流は、発生する津波の前面波形勾配を小さくする。今回、妥当な値は0.01であった。

以上の底面摩擦係数と拡散係数は、土砂流の流下現象に大きく影響し、かつ津波の発生時間、前面での波形勾配を変えることが分かった。

最後に、図4より、界面抵抗の影響が第一波峰の後部に水位の低下として現れていることが分かる。界面抵抗は速い流れの土砂流が海面を引き

込む作用があり、これが津波第一波の後方に見られた。水理実験では、この後方の水位の低下が非常に顕著に見られているが、数値モデルはこれを十分に表現していない。その原因としては、数値モデルで作用する界面抵抗力の作用する時間が遅いことが考えられる。また、速度差の2乗に比例するモデルであるが、これを見直すことが今後の検討課題である。

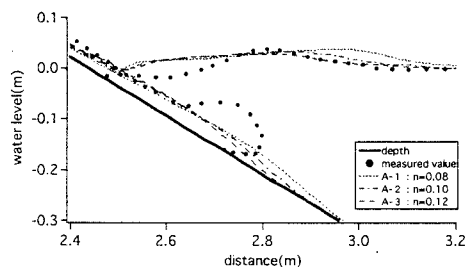


図2 底面粗度係数の変化

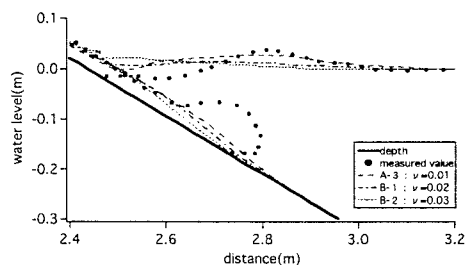


図3 水平拡散係数の変化

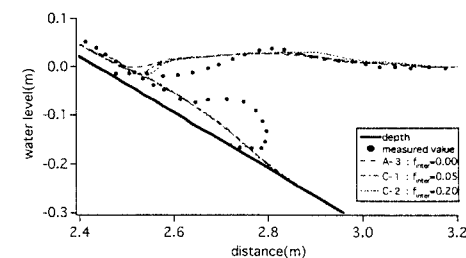


図4 界面抵抗係数の変化

謝辞

今回水理実験データをご提供頂いた電源開発の皆様へ心から謝意を表します。

参考文献

松本智裕・橋和正・今村文彦・首藤伸夫(1998): 土砂流による津波発生モデルの開発, 海洋工学論文集 第48巻, pp346-345.