

II-56

土石流突入による津波発生・伝播モデルの改良

東北大学大学院工学研究科 学生員 ○後藤大地
東北大学大学院工学研究科 正 員 今村文彦

1. はじめに

地滑り及びそれに伴う土石流により発生する津波は、断層運動による津波に比べて頻度は低いものの、歴史的にみてもその規模・被害ともに大きな事例がある。しかし、土石流により発生する津波の研究は、断層運動に比べて詳細な検討が少なく、未だ、津波発生モデルには不明な点が多い。

そこで本研究では、一次元水路において実際に土石流突入による水理実験を実施することにより発生過程を整理し、土石流水面突入前、突入後の二段階に分けて、後藤・今村（2001）のモデルをより適切に改良することを目的とする。

2. 一次元水理実験

可変傾斜式の土砂発生用一次元伝播水路（今村ら、2000）を設置し、水路上流に設置された給砂装置から比重 2.6、重量 30kg、乾燥状態の 4 号珪砂を流下させ、土石流を水中に突入させて津波を発生させた。また傾斜路は 37° 滑面、30° 滑面で行った。

上流のゲート位置から、0.1m、2.0m、土石流突入位置の 3 カ所の水路中央にレーザー変位計を設置し測定を行った。また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、発生・伝播過程を詳細に把握した。図 1 に実験装置図を示す。

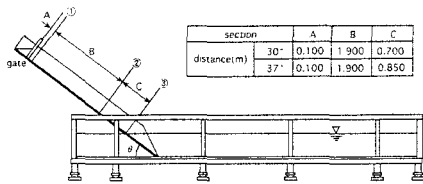


図1 一次元水路実験装置

3. 二層流数値モデルの改良

土石流により発生する津波の性質は、土石流水面突入時の形状と速度、突入後の津波との相互作用によって決まる。本研究では、土石流水面突入前と突入後の二つの段階に分けて、各種応力係数（底面摩擦、水平

拡散、界面抵抗）と界面抵抗の継続時間に関してパラメータスタディ（表 1 参照）を行い、津波発生・伝播過程の、より適切なモデル化の提案を行う。解析手法として、長波近似を仮定し、二層界面での力学的及び運動学的条件を用いて各層間で積分した二層流数値モデル（今村ら、2001）を用いている。

表1 パラメータスタディケース

case	底面粗度 $n_b(s/m^{1/3})$	水平拡散 $\nu(m^2/s)$	水中底面粗度 $n_w(s/m^{1/3})$	界面抵抗 f_{int}	界面抵抗 継続時間 $t_{int}(s)$
1-1	0.03	0.03	-	-	-
1-2	0.01	0.03	-	-	-
1-3	0.01	0.01	-	-	-
2-1	0.01	0.01	0.12	0.1	0.2
2-2	0.01	0.01	0.12	0.2	0.2
2-3	0.01	0.01	0.12	0.5	0.2
3-1	0.01	0.01	0.12	0.2	0.35
3-2	0.01	0.01	0.12	0.2	0.45
3-3	0.01	0.01	0.12	0.2	0.37

3. 1. 土石流水面突入前の検討と結果（30° 滑面）

土石流はゲート急開放後、混合して複雑な挙動を見せ、ある一定距離を流下すると流下形状と速度が落ち着き、準定常的な流下状態となる。今村ら（2001）は給砂装置位置においた土石流の形状を初期条件として与えていた。この方法は最も簡便な方法であるがゲート開放直後の土石流の複雑な挙動を再現できなかった。これにより水面突入時の土石流形状や速度は実験と異なるものとなり、シミュレーション結果に大きな影響を与えた。

そこで、より正確な突入状況を再現するために土石流の境界条件として、変位計②で計測された土石流の層厚と、変位計②から変位計③までの先端平均通過速度を与えた。ここで土石流の流速は層厚と相似形であると仮定し、式(1)により設定した。実験結果より、斜路角度 37° の時 U_{max} には 3.62m/s、斜路角度 30° の時 U_{max} には 2.2m/s を与えている。

$$U(t) = \frac{U_{max}}{\eta_2} \eta_2(t) \quad (1)$$

ここで U ：土石流流速、 η_2 ：土石流層厚となる。

土石流により発生する津波を議論する上で土石流の水面衝突速度と形状は重要なパラメータとなる。ここでは、モデル中でこれらを支配する底面摩擦項と水平拡散項の係数についてパラメータスタディを行った。変位計③での比較結果を図 2 に示す。

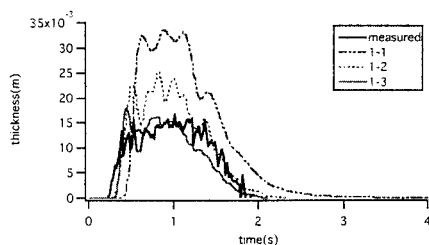


図2 底面粗度係数 n と水平拡散係数 ν の影響 (変位計③地点)

図2より、底面粗度係数 n と水平拡散係数 ν が大きくなることによって、土石流の流下速度が低下することがわかる。また、一定流量に対して流下速度が遅くなるために、土石流の体積は上部に堆積され、層厚が厚くなっている。また、 ν が大きくなることで土石流先端の前面勾配が緩やかになっている。

ここでは、土石流の水面衝突時刻と前面勾配、最大層厚に着目すると、滑面の底面粗度係数 n は 0.01、水平拡散係数 ν は $0.01 \text{ m}^2/\text{s}$ が妥当であると判断できる。

3.2. 土石流水面突入前の検討と結果 (37° 滑面)

土石流は水面に突入すると混合して拡散し、体積増加に伴う密度減少を引き起こす。そのために水から受ける抵抗が増大し、流下速度を減少させることが観察された。しかし、モデル中で混合による拡散は考慮しておらず、上下層の密度差が一定であるために、水から土石流に働く力は過小評価されてしまい、土石流の速度を減少させる要因にはなり得ない。そこで、水中で底面粗度係数を 0.12 とする事により水中で土砂が受ける抵抗、速度減少を表現することを試みた。その結果、Fig.3, Fig.4 に示すように、土石流の先端位置はほぼ一致する結果を得た。

土石流水面突入から 0.2 秒後の界面抵抗係数 f_{inter} の影響を図3に示す。 f_{inter} が大きくなることにより境界付近で水を引き込む力と津波先端部を押す力が増大している様子がわかる。ここでは、津波波形に着目し各ケースを比較した結果、 f_{inter} は 0.2 が最も妥当であると判断できた。なお、土石流と水の密度差のために、土石流が受ける界面抵抗力は相対的に小さくなり、 f_{inter} の影響はほとんど現れていない。

土石流水面突入から 0.5 秒後の界面抵抗力継続時間 t_{inter} の影響を図4に示す。 t_{inter} が長くなることによって引き込まれた水が前に押し出され、津波波高が増大している。これにより、第一波峰の後に谷が続く様子は

再現されているが、峰と谷の波高は完全には一致していない。局所的な流れや、短周期成分における波数分散性などの影響があるものと思われる。

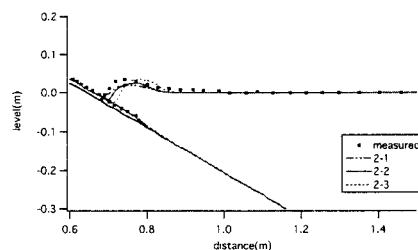


図3 界面抵抗係数 f_{inter} の影響

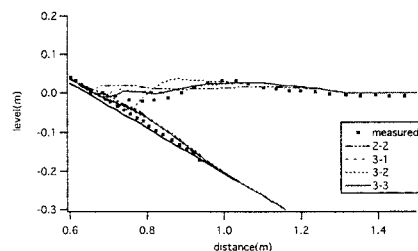


図4 界面抵抗継続時間 t_{inter} の影響

4. 結論

水面突入前の土石流の挙動はほぼ良好に再現され、底面粗度係数 n と水平拡散係数 ν を同定することができた。滑面斜路の n は 0.01、 ν は $0.01 \text{ m}^2/\text{s}$ が妥当であった。

水中で土石流が受ける抵抗力をまとめて水中底面粗度とし、水中での n を 0.12 にしたところ突入後の土石流の流下速度を一致させることができた。ただし津波との相互作用力として扱っていないために物理的に正確なモデルとはいえず、今後の検討が必要である。

界面抵抗係数 f_{inter} は、0.2 秒後の津波波形から 0.2 が妥当であると判断できた。界面抵抗継続時間 t_{inter} に関して、 t_{inter} を 0.37 秒間とすることにより第一波峰に続く谷が伝播の様子は再現できたが波高は一致しなかった。引き波の発生・伝播に関してはさらなる検討が必要である。

謝辞

今回水理実験データをご提供頂いた電源開発のみなさまに心から感謝いたします。

参考文献

後藤大地・今村文彦(2000)：土砂による津波発生に関する基礎検討，土木学会東北支部技術発表会講演集，pp.214-215。