

高知大学農学部 ○ 野澤知之 平松 晋也

国土交通省四国山地砂防工事（事） 岡本 敦 中山 正一 前川 美紀子

1. はじめに

山地斜面内に存在するパイプは、大きな集水性と排水性を有するため斜面を安定側へと作用させる一方、パイプの閉塞は土層内に過剰間隙水圧を発生させるため斜面を不安定側へと移行させることになる。本研究では、パイプからの流出量や流出土砂量を指標とした土砂災害発生予測手法を模索するための一助として、パイプからの土砂流出実験を実施した。

2. 実験方法

実験装置は、図1に示すように、給水用の定水位タンクと長さ76cm、幅7.2cm、深さ15cmのアクリル製水路により構成される。アクリル製水路は、勾配が 5° ~ 30° の範囲内で 5° 間隔で可変構造となっている。水路下端部から斜距離2cm, 36cm, 69cm及び15cm, 36cm, 65cmの水路側面には、地下水水面形（地下水深とパイプ内水深）計測用のマノメータ（内径8mmのビニールチューブ）を3本設置した。実験水路内には、現地流域（徳島県西祖谷山村とびのす谷C支溪）より採取した土砂の内、1cm通過土砂を10cmの厚さで充填した。実験水路の上・下流部はフィルターで仕切られ、上流部には給水用の貯水タンクを、下流部には三角堰を設置し、実験水路と上・下流部の間の水移動が可能な構造となっている。実験水路内には、直径1.5cmと3.2cmのパイプを水路底面から5cmと8cmの高さに埋設した。実験時の測定項目は、水路下端部からのパイプ流量、マトリックス流量及びパイプ土砂量と地下水水面形である。実験ケースは、パイプの直径を1.5cm, 3.2cmと変化させ、水路勾配を 5° , 10° , 15° と3段階変化させ、貯水タンクの貯留水深を5.5~9.7cmの範囲内で変化させた場合の計14ケースである。

3. 実験結果

3.1 パイプ流量とマトリックス流量

水路勾配を 15° とし、パイプの直径:3.2cm、貯水タンクの貯留水深:9.7cmと設定した場合を例として、パイプ流量とマトリックス流量の経時変化を図2に示す。パイプ流量、マトリックス流量ともに実験開始直後から急増し、パイプ流量は実験開始10~15分後に、マトリックス流量は20~30分後にそれぞれ定常状態を保つようになる。定常状態時のパイプ流量とマトリックス流量の総流出量（パイプ流量+マトリックス流量）に占める割合を示す図3より、総流出量に占めるマトリックス流量の占有率は1~8%程度と低く、パイプ流発生時の流出量の90%以上はパイプ流によって占められていることがわかる。また、パイプ流量の総流出量に占める割合は、総流出量の増加とともに増大するのに対し、マトリックス流量の割合は減少するようになる。

3.2 パイプからの流出土砂量

水路勾配を 15° とし、パイプの直径:3.2cm、貯水タンクの貯留水深:6.0cmと設定した場合を例として、パイプからの流出土砂量と流出量の経時変化を図4に示す。流出土砂量は実験（給水）開始後の時間経過とともに減少し120分程度で定常状態を示すようになる。この傾向は各ケースともに認められ、定常状態時の流出土砂量は単位幅あたりのパイプ流量（パイプ内水深）や水路勾配の増加とともに増大することが確認された（図5）。

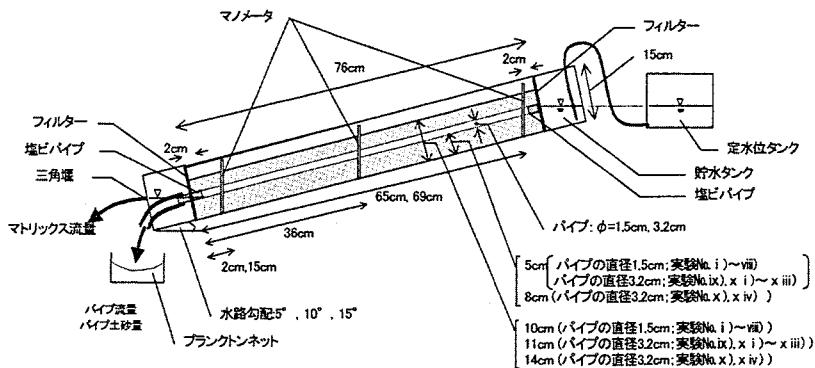


図1 実験装置の概要

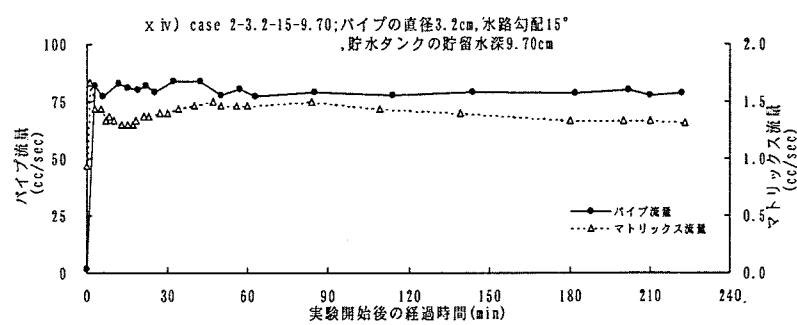


図2 パイプ流量とマトリックス流量の経時変化

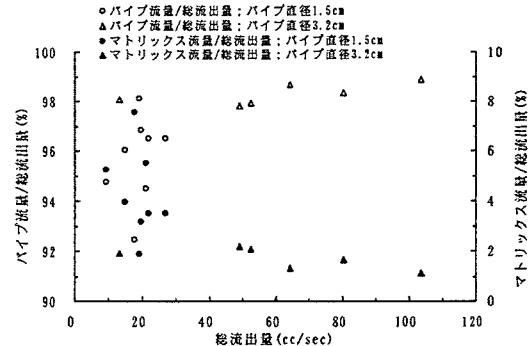


図3 パイプ流量とマトリックス流量の総流出量に占める割合(定常状態時)

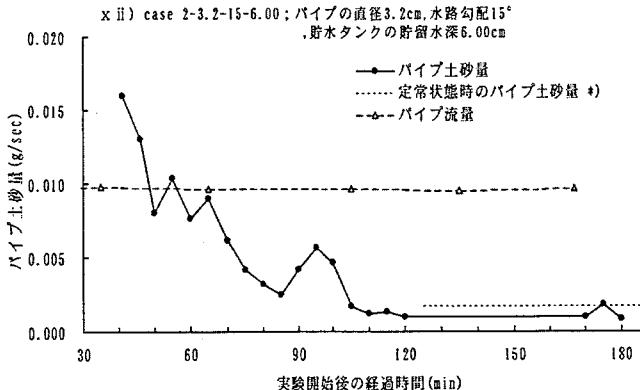


図4 パイプ土砂量の経時変化

4. パイプからの流出土砂量の再現

4.1 粘着性を考慮しない場合

Einstein-Brown 式(1式)と芦田・道上式(2式)による計算値(掃流砂量)と土砂流出実験による実測値(パイプからの流出土砂量)とを比較すると、いずれの場合も計算値は実測値より2~5オーダー大きな値を示す結果となった。

$$q_B = 40 F(d) \tau^3 \sqrt{(\rho_s - 1) g d^3} \quad \dots\dots\dots\dots(1)$$

$$q_B = 17 \sqrt{(\rho_s - 1) g d^3} \tau_{*c}^3 \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \right) \left(1 - \frac{u_{*c}}{u_*} \right) \dots\dots\dots\dots(2)$$

一方、浮遊砂量式(芦田・道上式)による計算値は、逆に、実測値を5~8オーダー下回る結果となった。

4.2 粘着性を考慮した場合

粘着性土砂の粘着性を考慮した無次元限界掃流力： τ_{*cc} は、(3)~(4)式に示すように粘着性を考慮しない場合の無次元限界掃流力： τ_{*c} と粘土分の含有による限界掃流力の増分： $\Delta\tau_{*cc}$ の和で表される。単位時間単位幅あたりの流出土砂量： q_B は、粘着性土砂の粘着性を考慮した無次元限界掃流力： τ_{*cc} を用いて得られる単位時間あたりの離脱率： p_s (pick-up rate)：(5)式)を用いて単位時間あたりの砂礫の離脱堆積量： E ($\text{cm}^3/\text{sec}/\text{cm}^2$)：(6)式)として求められる。

$$\tau_{*cc} = \tau_{*c} + \Delta\tau_{*cc} \dots\dots\dots\dots(3)$$

$$\Delta\tau_{*cc} = \frac{3}{2} n \frac{f_c}{(\sigma - \rho) g d} \left[\left\{ 1 + \frac{1}{1 - \lambda} \frac{p_f (1 + \phi_s \omega)}{p_f \phi_s \omega + 1} \right\}^{\frac{2}{3}} - 1 \right] \frac{\phi_s}{\tan \varphi} \dots\dots\dots\dots(4)$$

$$p_s = \begin{cases} F_0 \tau_* \left(1 - \frac{\tau_{*cc}}{\tau_*} \right)^3 / \sqrt{\frac{d}{(\rho_s - 1) g}} & (\tau_* > \tau_{*cc}) \\ 0 & (\tau_* \leq \tau_{*cc}) \end{cases} \dots\dots\dots\dots(5)$$

$$E = p_s N k_3 d^3 \dots\dots\dots\dots(6)$$

実験砂に対する一面セン断試験により得られた粘着力を用いて得られた計算値は、粘着力を考慮しない場合よりは誤差が小さくなったものの、実測値よりも1~2オーダー大きく算定された。このため、土砂流出実験結果を基に、パイプ流速を用いて粘着力を関数化し、再計算を行った。再計算結果と実測値との関係を示す図7より、水路勾配を5°とし、パイプの直径：1.5cm、貯水タンクの貯留水深：5.9cmと設定した場合を除き、パイプからの流出土砂量は実測値と1オーダー程度の誤差の範囲内で再現される結果となり、同手法を用いてパイプからの流出土砂量を予測し得る可能性が示唆された。

5. おわりに

室内水路実験より得られたパイプからの流出土砂量の再現計算を行った結果、土砂の粘着力を考慮することによりその再現精度は向上することができ確認された。しかし、これらの結果は、パイプ内水深が0.39~1.62cmと限られた範囲内の値であるため、今後はパイプ内水深をさらに大きくした場合の追加実験を実施し、今回得られた結果の確認を行う必要がある。さらに、粘着力の与え方次第で再現計算結果は大きく変化するため、粘着力の効果的な計測方法や決定手法の確立が今後の課題となろう。

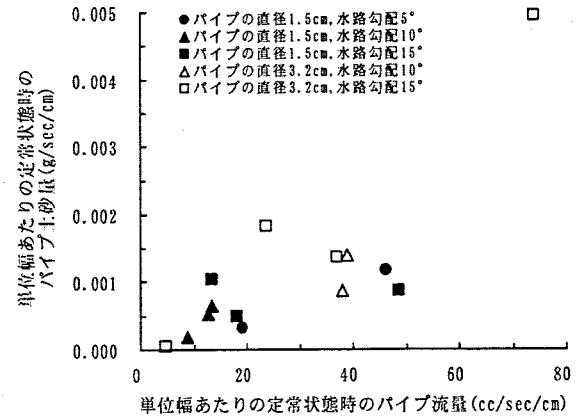


図5 定常状態における単位幅あたりの
パイプ土砂量とパイプ流量との関係

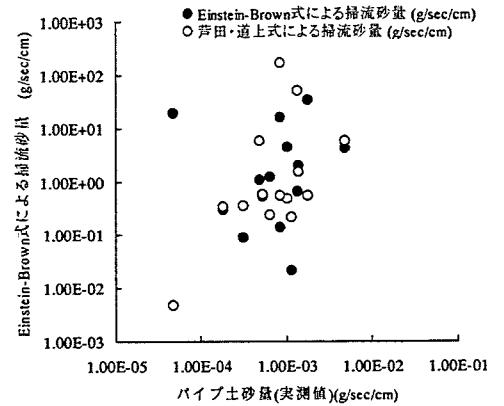


図6 掃流砂量式による計算値と
実測値(パイプ土砂量)との関係

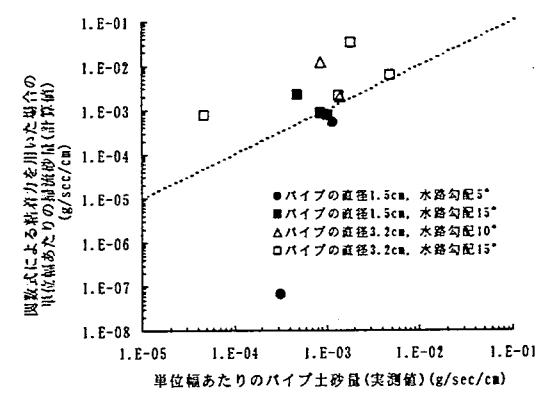


図7 粘着力を考慮した流砂量計算値と実測値との関係