

降雨を模擬した浸食対策工の数値シミュレーションの適用について

(株) シーテック 正会員 前田 浩伸
 (株) シーテック 正会員 ○板井 佳織
 (株) シーテック 非会員 山下 達己

1. はじめに

近年、豪雨による土砂災害や浸水被害が多く発生している。筆者らは、山間地斜面において、集中豪雨に伴う浸食対策の内、重機が使用できない辺境地等での人工工法(こどぼく¹⁾)の1例として雨水誘導マット(RL マット²⁾)を提案し施工している。また、RL マットの浸食対策効果について数値シミュレーションの適用³⁾も行っている。

本稿では、RL マットの特徴である分水・誘導効果について降雨を模擬し、斜面を流下する状況について数値シミュレーションを行い、雨水の分水・誘導効果の検討を行うとともに、その効果の適用範囲について回帰分析による数式化を試みた。

2. 数値シミュレーションの概要

数値シミュレーションには、汎用流体解析プログラムである Flow-3D[®]を用いた⁴⁾。ここでは、以下に示す降雨モデルによる数値シミュレーションの概要を示す。

降雨モデルは質量粒子を降雨とみなしている。質量粒子と流体は相互作用するものとして、自由表面を貫通する質量粒子は自由表面で捕捉される仮定を行っている。また、質量粒子は拡散係数による拡散および慣性力を有している。

降雨モデルの基礎式として質量粒子の運動方程式を以下に示す。

$$\frac{du_p}{dt} = -\frac{1}{\rho_p} \nabla P + g + \beta(u - u_p)|u - u_p| \cdot \frac{\rho}{\rho_p}$$

ここに

u_p : 粒子速度、 ρ_p : 粒子密度、 g : 重力加速度、
 u : 流体速度、 P : 流体圧力、

$$\beta = \frac{3}{4d} C_D$$

抗力モデルは、粒子の抗力を計算するため、球体周りの定常流れにおける流体の相対速度に抗力係数を関連付けた経験式⁵⁾を採用している。

$$C_D = \left(\frac{24}{Re} + \frac{6}{1 + \sqrt{Re}} + 0.4 \right)$$

ここに C_D : 抗力係数、 Re : レイノルズ数

3. 解析方法

数値シミュレーションには、RL マットの1枚分(幅1m 長さ5m 凸部φ40mm 凸部間隔300mm)に助走距離(0.5m)を付

加した形状とした(図1参照)。

降雨条件として、解析上流側の流域面積を70m²と仮定し、これらの雨水がRL マットに集水すると考え、降雨の総量を解析領域内に降雨として与えた。また、降雨の雨粒は、20mm/h以上の強い雨の場合、雨粒の直径が5mm以上となると報告⁶⁾されていることから、直径5mmとした。

降雨の落下速度はStokesの式より、直径5mmの雨滴の終端速度⁷⁾は約11.2m/sと算出される。この終端速度を用いて鉛直上方向の解析境界面から降雨させた。

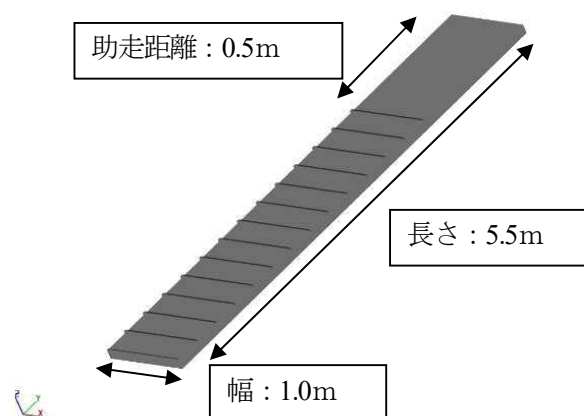


図1 解析モデル

その他の解析条件を以下に示す。また、解析はメッシュ分割の影響を少なくするため、解析上RL マットの傾斜角度を変える代わりに重力加速度および降雨方向を傾けて解析を行った。

表1 その他の解析条件

項目	内容
解析領域	側方(X方向): 1.0m(RL マット幅) 上下流(Y方向): 5.5m 鉛直(Z方向): 0.3m(マット厚み 10 cmを含む)
メッシュ分割	X,Y,Z 方向 均等分割(0.0125m) X方向: 40 メッシュ Y方向: 440 メッシュ Z方向: 32 メッシュ 全メッシュ数 563,200
乱流モデル	RNG モデル
境界条件	下流および側方: 流出境界 鉛直上方: 降雨境界 底面: 固定
粗度	粗度高さ 1 mm
解析時間	60 秒

キーワード: こどぼく、斜面浸食、浸食対策、RL マット、FLOW3D、降雨モデル、数値シミュレーション

〒455-0054 名古屋市港区遠若町 3-7-1 Tel. 052-651-4074 E-mail: h.maeda@ctechcorp.co.jp k.itali@ctechcorp.co.jp

〒514-0834 三重県津市大倉 12-19 Tel. 059-227-6555 E-mail: t.yamashita@ctechcorp.co.jp

4. 解析ケース

解析ケースは実斜面の勾配を考慮し、斜面角度 25 度～50 度 (5 度ピッチ) とし、降雨強度は時間雨量 50 mm/h～200 mm/h (50 mm/h ピッチ) の範囲とした。以下に解析ケースを示す。

表 2 解析ケース

	斜面角度(度)	降雨強度(mm/h)
角度と降雨強度の組み合わせ	25、30、35、40、45、50	50、100、150、200

5. 解析結果

解析結果の例として RL マットに降雨させた場合の雨水の分水・誘導状況を以下に示す。

図中、水色点群は降雨状態を示し、青色は水面を示す。また、降雨状態をわかりやすくするため、雨粒の径を大きくして表示した。

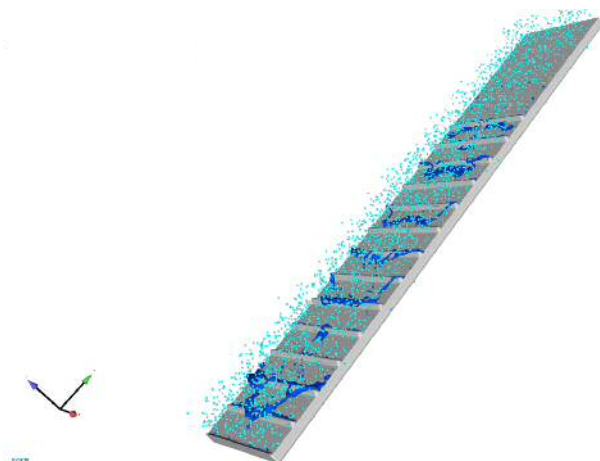


図 2 解析結果例 (傾斜角度 30 度)

RL マットの分水・誘導効果として、側方に誘導される水の量 (Q1) と下流に流下する水の量 (Q2) との比 (Q1/Q2) を求め整理する。Q1 および Q2 は、各解析境界からの流出量を単位幅に置き換え、解析時間 40 秒～60 秒間の平均値を評価の対象とした。

以下に斜面角度および降雨強度の違いによる分水・誘導効果を比較した結果を示す。

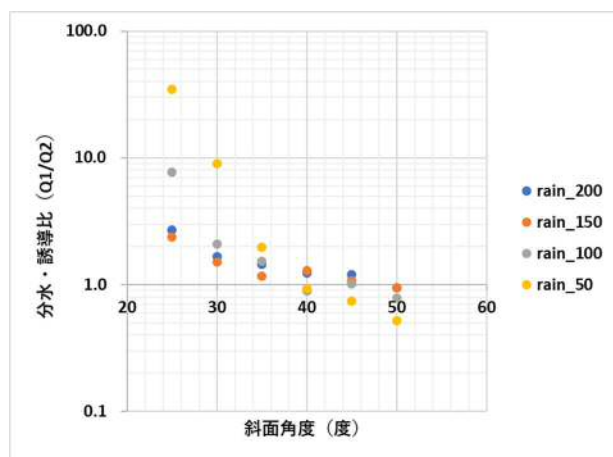


図 3 分水・誘導効果

上図より、分水・誘導効果は、斜面角度が小さく降雨

強度が少ないほど $Q1 > Q2$ となる傾向が強いことが分かる。RL マットの特徴から斜面角度が 35 度から 50 度程度までの範囲であれば降雨強度によるバラつきも小さく側方への導水および下方への落水の割合がほぼ均等な分水・誘導効果が得られると考えられる。

次に RL マットの均等な分水・誘導が期待できる斜面角度 35 度から 50 度の範囲で、斜面角度および降雨強度を説明変数とし、分水・誘導比 ($Q1/Q2$) を目的変数として回帰分析を行った。

重相関式

$$(Q1/Q2) = -0.04528 \times \text{斜面角度} + 0.001091 \times \text{降雨強度} + 2.893$$

重相関 $R=0.772$ 有意水準 $=0.003$

回帰分析により得られた重相関係数および有意水準より、回帰式は妥当と判断でき、斜面角度と降雨強度で RL マットの分水・誘導比の概算値をあらかじめ算出することが可能と考えられる。

6. まとめ

山間地斜面の浸食対策において、RL マットの分水・誘導効果について数値シミュレーションを用い、分水・誘導比を斜面角度および降雨強度を説明変数として設定することにより算出することができた。

RL マットの効果として、側方への分水・誘導を主とする場合は、斜面角度が 35 度未満となり、側方に分水させる流量と下方に落水させる流量との割合が 1:1 の場合は、斜面角度 35 度から 50 度の範囲が適当となる。さらに斜面角度 50 度より大きい場合は、下方に落水する量が多くなり RL マットの分水・誘導効果は限定的なものとなる。

7. 今後の課題

今回得られた数値シミュレーションによる RL マットの分水・誘導の適用範囲および効果を数式として評価することを試みた。今後は、回帰分析により得られた数式の精度向上と現地施工例との比較検証を行い、山間地における浸食対策工としての事例を蓄積していきたい。

参考文献

- ¹ <http://www.ctechcorp.co.jp/technology/overhead/overhead06/>
- ² <http://www.asahihake.jp/item41.php>
- ³ 前田：斜面浸食への数値シミュレーションの適用について、土木学会中部支部研究発表会、2019.3
- ⁴ 前田ら：流速計まわりの水の乱れについて (数値解析による検討)、土木学会中部支部研究発表会、2013.3
- ⁵ G. K. Batchelor. An Introduction to Fluid Dynamics. Cambridge University Press, 1983
- ⁶ http://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~kenkyo/kenkyuseika/pdf/H24_1/09.pdf
- ⁷ https://www.sit.ac.jp/user/konishi/JPN/L_Support/SupportPDF/TerminalVelocity.pdf