

粒度分布を反映した赤土等の土砂流出量の算出に関する研究

九州大学大学院 学○村山啓太

九州大学大学院 正 荒木功平

九州大学大学院 正 安福規之 大嶺聖 ハザリカ・ヘマンタ

1.はじめに

沖縄県では、降雨により赤土等土砂が河川等を通じ海へと流出した結果、サンゴ礁の荒廃、養殖もずく等の収穫物の減少、ビーチの一時閉鎖など水産業・観光産業への被害が発生している。地球温暖化が要因と考えられる気候変動による降雨の局所化や高強度化、大雨の頻度の増加が確実に増えてきた現在、亜熱帯化先進地である沖縄県の赤土等の土砂流出量の増加が危惧される。このような中、地球温暖化時代を見据え、過去の統計や経験が通用しなくなる事態が生じることも想定されており、新たな解決策を模索するには、土砂流出の力学的メカニズムの解明が必要である。本研究では、沖縄県国頭郡東村で採取した赤土（国頭マージ）を用いた水平浸潤試験から浸透特性を把握し、降雨に伴う地表面流量を算出する。また、粒子の力学的安定条件における考察から、粒度分布を考慮した土砂流出量の算出モデルを提案する。また、東村における最大時間雨量、最大日雨量を記録した日のデータを用い、土砂流出量の比較を行う。

2. 内容

2-1. 浸透能～時間関係の算出

図-1 に数分～数時間で土の浸透特性を把握できるボルツマン変換法¹⁾による、水平浸潤試験装置の概略図を示す。円筒リング(厚さ 1cm、内径 3cm)50 個の水平浸潤セルと定水位給水装置から成る。給水開始後、浸潤前線が所定の位置まできたら給水を止め、各セルのボルツマン変数(給水開始位置 x と時間 t により式(1)で表される)と含水比 w を測定する。ここで、試験結果を表現するために式(2)、式(3)を提案する。式中 a, b, c, α はフィッティングパラメータであり、回帰分析を行って決定した。図-2 には沖縄県国頭郡東村で採取した国頭マージの炉乾燥試料(初期含水比 w_0 を 0 とする)を用いたボルツマン変数～含水比関係の試験結果および式(2)による近似曲線を示す。試験時の間隙比 e は $e = 0.695$ とした。この図より式(2)は試験結果を良く表現出来ることがわかる。提案した式(2)を用い、式(4)に示すフィリップ式²⁾により、国頭マージでの浸透能～時間関係を評価する。

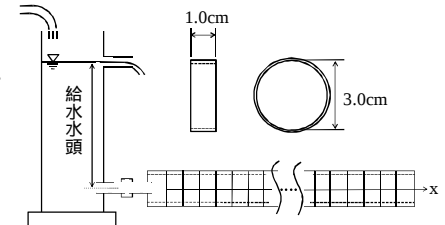


図-1 試験装置概略図

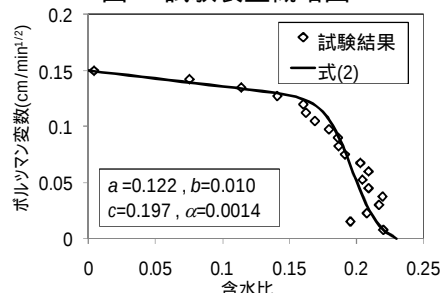


図-2 ボルツマン変数～含水比関係

$$\eta = \frac{x}{\sqrt{t}} \quad (1), \quad \eta = \frac{a}{1 + \exp(z)} - \alpha z \quad (2), \quad z = \frac{w - c}{b} \quad (3)$$

$$f \cong \frac{1}{2\sqrt{t}} \int_{w_0}^w \eta dw + k_w \quad (4), \quad f: \text{浸透能(mm/hour)}, k_w: \text{飽和透水係数(mm/hour)}$$

2-2. 降雨時における地表面流量 Q の算出

気象庁の過去の気象観測データより、東村における日最大 1 時間降雨量(2006 年 6 月 18 日)および日降雨量(1997 年 8 月 17 日)を記録した日のデータをもとに 2 ケースの降雨パターンを図-3、図-4 に示した。また、式(4)による浸透能～時間関係を示した。降雨量のうち浸透能を上回る部分の面積の値を地表面流量 Q (mm)とし、それ以外の部分を地盤への浸透量とした。雨が降り始めて 3 時間で浸透能は収束値に向かい、時間あたり約 14mm となる。図-3 では、降雨開始 2 時間後に 1 時間あたり約 80mm の雨が降っている。図-4 で

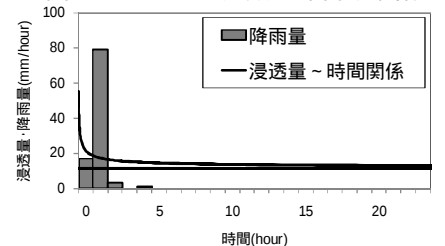


図-3 浸透能・降雨量～時間関係(ケース 1)

キーワード 土砂流出、ボルツマン変数、粒度分布、赤土、粘着力

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地 WEST2 号館 1108-2 地盤工学研究室 TEL 092-802-3378

は、降雨開始 15 時間後に流出水が発生することがわかる。表-1 は算出結果である。表-1 より日降雨量に 150mm 以上の差があるが、地表面流量は図-3 のほうが多いことがわかる。このことから、降雨強度が大きいと、短時間でも多量の地表面流量が発生する場合があります、豪雨対策が必要となると考えられる。

2-3. 粒度分布を反映した土砂流出量のモデル化

図-5 に示す傾斜角 θ の斜面において地表面流の斜面方向の力 F_q 、粘着力 c による粘着抵抗力 F_c 、土粒子の自重 W を考慮し式(5)を提案した。式(6)に F_q の算出式、式(7)に F_c の算出式、式(8)に F_q 、 F_c の算出の際に用いた粒状面に働く合力の切口面積 A を示す。面積 A は Bishop の χ^3 と式(9)の関係があり、 χ は S_r と式(10) の関係がある⁴⁾。ここで、粒状面に関して水の占める面積の切口面に対する投影面積を A_w (式(11))、水の体積を V_w (式(12))、水の密度を ρ_w (1.0 g/cm^3)、重力加速度を g (9.8 m/s^2) とした。内部摩擦角、土粒子密度は土質試験により ϕ (28 度)、 ρ_s (2.731 g/cm^3) を用いた。また、降雨時の飽和度を仮定し飽和度 S_i は 100(%)、傾斜角 θ は圃場の一般的な角度から $\theta=3$ (度)とした。 c は接点あたりの粘着成分と考えている。式(13)に直径 D の土粒子の体積 V_s を、式(14)に式(5)か

ら導かれる流出限界粒径の算出式を示す。降雨時における粘着成分の変化を想定し、 $c=0$ (kPa)と $c=0.03$ (kPa) の 2 ケースで算出した。式(14)および粒径加積曲線より求めた流出限界粒径とその時の通過質量百分率 P_i を表-2 に示す。体積 $V(1(\text{m}) \times 1(\text{m}) \times \text{試料最大径})$ の土壌から流出限界粒径まで土砂流出するとし、式(15)により最大土砂流出量 M を算出した。式(16)は乾燥土壌の質量 W_s の算出式である。表-2 より、粘着成分の違いで流出限界粒径および最大土砂流出量が大きく変化することがわかる。

$$W \sin \theta + F_q \geq W \cos \theta \tan \phi + F_c \quad (5), \quad F_q = Q \rho_w A g \sin \theta \quad (6), \quad F_c = c A \quad (7)$$

$$A = (e V_s)^{\frac{2}{3}} S_r^{-\frac{1}{3}} \quad (8), \text{ここに, } \chi = \frac{A_w}{A} \quad (9), \quad \chi \cong S_r \quad (10), \quad A_w = (V_w)^{\frac{2}{3}} \quad (11), \quad V_w = e V_s S_r \quad (12), \quad V_s = \frac{\pi}{6} D^3 \quad (13)$$

$$D \leq \frac{(c - Q \rho_w g \sin \theta) S_r^{-\frac{1}{3}} (\pi/6)^{\frac{1}{3}} e^{\frac{2}{3}}}{(\rho_s - \rho_w S_r) g (\sin \theta - \cos \theta \tan \phi)} \quad (14), \quad M = P_i W_s \quad (15), \quad \text{ここに, } W_s = \frac{V}{1+e} \rho_s \quad (16)$$

3. まとめ

気候変動に伴う降雨パターンの違いによる地表面流量の算出および粒度分布を反映した土砂流出量を簡易的に評価できるモデルを作成した。また、算出結果より、最大土砂流出量は粘着成分に大きく左右されることがわかった。このことから地表面付近の見かけの粘着成分を消失させない手法が必要であると考えられる。今後、上記の課題の検討および提案した式の実用化のため、現地圃場における実測値との比較を行っていきたい。

参考文献

- 1) 地盤工学会：「不飽和地盤の挙動と評価」，地盤工学会，pp63-65，2004，
- 2) 東京電機大学出版局，水村和正 著「水文学の基礎」，pp99-108，
- 3) 技報堂出版，山口柏樹 著「土質力学」，pp38-40，
- 4) Gallipoli, D., Gens, A., Vanet, J. and Romero, E. : Role of Degree of Saturation on the Normally Consolidated Behavior of Unsaturated Soils, Proc. 3rd Int. Conf. on Unsaturated Soils, pp.115-120, 2002

謝辞：本研究は、環境省の環境研究総合推進費(S8-2(2))により実施された。

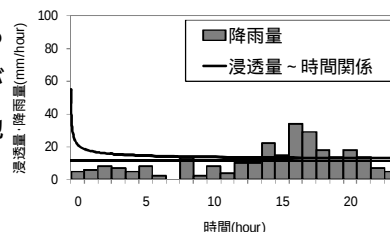


図-4 浸透能・降雨量～時間関係(ケース2)

表-1 地表面流量・浸透量算出結果

	日降雨量(mm)	地表面流量(mm)	浸透量(mm)
図3	100	60.90	39.10
図4	264	57.86	206.14

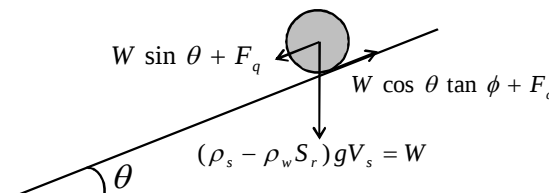


図-5 一粒子にかかる力のつり合いモデル

表-2 最大土砂流出量算出結果

流量(mm)	粘着力(kPa)	流出限界粒径(mm)	通過質量百分率(%)	最大土砂流出量(kg/m ²)
60.90(図3)	0	3.681	96.76	15.59
	0.03	0.1453	58.53	9.43
57.86(図4)	0	3.497	96.54	15.55
	0.03	0	0	0