

第Ⅲ部門

表面流による表土の挙動を考慮した表土層厚推定手法に関する基礎的研究

神戸大学工学部

学生員 ○中村 幸一

神戸大学都市安全研究センター

正会員 沖村 孝

神戸大学都市安全研究センター

正会員 鳥居 宣之

1. はじめに

崩壊発生場所の予知・予測手法では表土層厚の重要性が指摘されている。しかしながら、広域を対象とする場合、斜面全ての表土層厚を実測することは多大な労力を必要とするため、表土層厚推定手法が必要となる。一般に、表土層厚は基岩の風化と表土の移動により形成されるといわれている¹⁾。本報では表土の移動のみに着目し、表土の移動は斜面上の表面流によって発生すると仮定して、表面流による表土の浸食・堆積のし易さを領域内の表土層厚の相対値で表すことで、山腹斜面の表土層厚の推定を行うことが可能か否かを検討する。

2. 解析対象地

本報では、六甲山系の南側斜面に位置する青谷地区において解析を行った。本試験地は、ほぼ自然状態の表土層厚が残されている。図-1に青谷試験地の位置図を、図-2に微地形分類図を示す。本試験地では過去に簡易貫入試験によって表土層厚が実測されている²⁾。図-3に本試験地の実測表土層厚分布図を示す。

3. 本手法で用いた解析モデル

表面流による表土の移動過程を表すモデルとして、斜面上の表面流の水深を表す表面流出モデルと、表面流により表土が浸食・移動していく表土移動モデルを用いる。表面流出モデルは、Manningの式と連続の式に基づいて設定されており、時刻 $t + \Delta t$ における水深は式(1)で表される。また、表土移動モデルは、高橋³⁾が提案している土石流の挙動を表すモデルを基とし、土砂容積濃度をゼロとして、表面流による掃流力と表土の粘着力を考慮したモデルとした。なお、表土層内の粘着力は、降雨開始前の地表面で0、基岩面で C_0 として深さ方向の1次関数とした。なお、表土が表面流により堆積している場合には、堆積した表土は浸食により粘着力が低下しているとして、1次関数の傾きを降雨開始前の1/2とした。削剥深を求める式は、浸食される場合は式(2)、堆積する場合は式(3)で表される。また、解析により得られた値は表面流による表土の浸食・堆積のし易さを表しているため、直接実測値との比較はできない。そこで得られた解析値を式(4)により領域内の表土層厚の相対値として表し、解析値が最大・最小となった地点での実測表土層厚を用いて、式(5)から全体の表土層厚を推定した。なお、崩壊跡地、谷底面及び堆砂地では表土が堆積し続けるため、解析対象外とした。

$$h^{(t+\Delta t)} = h^{(t)} + \frac{\Delta t}{D} (q_1 + q_2 - q_3 + q_4) + r\Delta t \quad (1)$$

$$L = \frac{\frac{\gamma_w h_w^{-1/3} n^2 v^2}{\cos \theta} + \gamma_w h_w (\tan \theta - \tan \phi) - \frac{C_0}{\cos \theta \times HS^{(0)}} (HS^{(0)} - HS^{(t)})}{\frac{C_0}{\cos \theta \times HS^{(0)}} + (\tan \phi - \tan \theta) \{C_s (\gamma_s - \gamma_w) + (1 - C_s) \gamma_w\}} \quad (2)$$

$$L = \frac{\frac{\gamma_w h_w^{-1/3} n^2 v^2}{\cos \theta} + \gamma_w h_w (\tan \theta - \tan \phi)}{\frac{C_0}{\cos \theta \times 2HS^{(t)}} + (\tan \phi - \tan \theta) \{C_s (\gamma_s - \gamma_w) + (1 - C_s) \gamma_w\}} \quad (3)$$

$$R_h = \frac{h_s - h_{\min}}{h_{\max} - h_{\min}} \quad (4) \quad HS = H_{\min} + (H_{\max} - H_{\min}) \cdot R_h \quad (5)$$

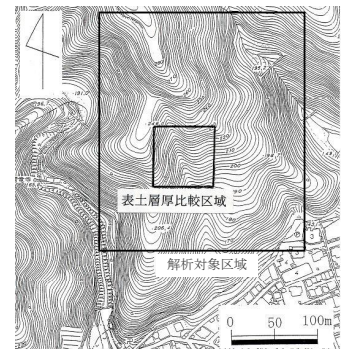


図-1 解析対象地及び表土層厚比較区域

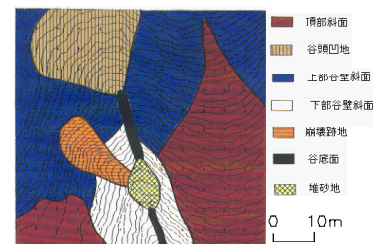


図-2 微地形分類図

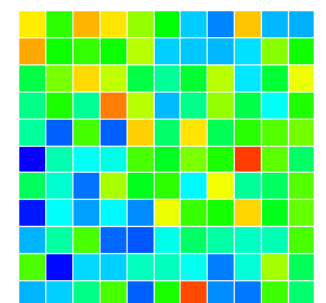


図-3 実測表土層厚分布図

ここに、 γ_{sat} : 土の飽和単位堆積重量、 γ_w : 水の単位堆積重量、 D : 格子間隔、 h : 水深、 q : 流量、 r : 降雨強度、 L : 削剥深、 τ : 深さ L でのせん断力、 τ_L : 深さ L でのせん断抵抗力、 C_S : 表土中の土砂容積濃度、 θ : 斜面傾斜角、 ϕ : 内部摩擦角、 n : 粗度係数、 v : 表面流の流速、 C_0 : 基岩面での粘着力、 $HS^{(0)}$: 降雨開始前の表土層厚、 $HS^{(t)}$: 時刻 t での表土層厚、 R_h : 解析値の表土層厚比、 h_s : 解析値、 h_{min} : 解析値の最小値、 h_{max} : 解析値の最大値、 H_S : 推定表土層厚、 H_{min} : 解析値が最小値となった点での実測表土層厚、 H_{max} : 解析値が最大値となった点での実測表土層厚

4. 解析条件及び解析結果

本報では、近藤⁴⁾ が用いた諸物性値を参考にして、入力物性値を設定した (表-1 参照)。その他、初期表土層厚は 1.0m、粗度係数は 0.6、時間ステップは 20 秒とした。入力降雨については、表土の移動が生じるような降雨は年最大時間降雨を観測する降雨とし、神戸海洋気象台の過去 10 年間のデータ ('86~'95) から求めた年最大時間降雨量の期待値を用いた。また、本モデルでは表土の移動量から表土層厚を推定するため、降雨入力回数が重要となる。そこで試験地に 100 回分の降雨を入力し、解析値が特徴的な変化を示す格子点があれば、その変化が解析期間を決定する要因となり得るかを検討した。図-4 に本試験地における下部谷壁斜面の解析値の変化を示す。図中に赤線で示した格子点では、解析値が急激に増加している。これらの格子点は、全て谷底面もしくは堆砂地に面していた。そこで、これらの格子点の断面での解析値の推移を検討した結果、これらの点では隣接する谷底面の傾斜が緩いため表土が堆積し続け、下部谷壁斜面が谷底面よりも標高が低くなり、表土の浸食場から堆積場へと変化していた。それゆえ、解析値が急激に増加したと思われる。そこで、本試験地での降雨入力回数は 20 回とした。以上の条件により、解析を行った結果を図-5 に示す。図-3 と比較すると、傾斜が大きい谷底面の右岸側で表土が薄く、頂部斜面がある左岸側では表土が厚い傾向が見られるなど、概ね分布傾向は表されていると思われる。図-6 に実測表土層厚と本手法による推定表土層厚との比較図を示す。図中の実線は実測表土層厚と推定表土層厚が一致する線、破線は実測値に対して $\pm 0.3m$ の境界線である。既往の研究²⁾ で、実測値に対して $\pm 0.3m$ 以内であれば安全率に大きな影響を及ぼさないという結果が出ているため、この破線内を許容範囲とした。図-6 より、一部許容範囲を上回る誤差が生じている点も見受けられるが、ほぼ許容範囲内に含まれている。解析対象セル数の内、誤差が許容範囲内となったセル数の割合は 76% であった。また、隣接する観音寺試験地で同様の手法を用いて解析を行った結果、誤差が許容範囲内となったセル数の割合は 81% であった。よって本報で提案した手法は、山腹斜面の実測表土層厚分布の傾向を概ね表すことが可能であることが示された。

5. まとめ

表面流による表土の移動量を相対値として評価し、山腹斜面における表土層厚を推定する手法について検討した。その結果、実測表土層厚分布の傾向を概ね示すことができたと思われる。しかしながら解析対象セルの内の 2 割前後は誤差が許容範囲を超えており、水流による掃流力を考慮するなど更なるモデルの改良が必要である。

【参考文献】

- 1) W. E. Dietrich, R. Reiss, Mei-Ling Hsu and D. R. Montgomery: A process-based model for colluvial soil depth and shallow landsliding using digital elevation data, *Hydrological Processes*, 9, pp.383-400, 1995.
- 2) 沖村孝, 渡邊住秀: 数値地形モデルより得られる地形情報と山腹表土層厚の関係, 土地造成工学研究施設報告, 11, pp.55-88, 1993.
- 3) 高橋保: 土砂流出と災害の予測, 水工学シリーズ, 87-A-8, 1987.
- 4) 近藤広充: 表土層厚推定のための斜面土砂移動モデルに関する基礎的研究, 神戸大学自然科学研究科修士論文, 51p., 2003.

表-1 解析に用いた物性値

γ_{sat} (kN/m^3)	γ_w (kN/m^3)	C_S	C_0 (kN/m^2)	ϕ ($^\circ$)
17.6	9.8	0.49	10.0	31.0

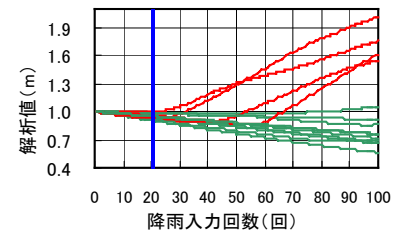


図-4 下部谷壁斜面の解析値の推移

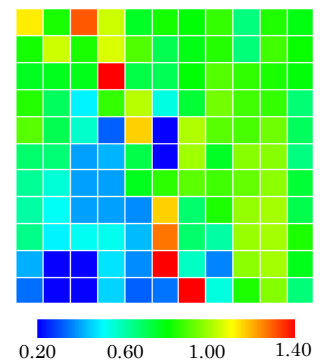


図-5 推定表土層厚分布図

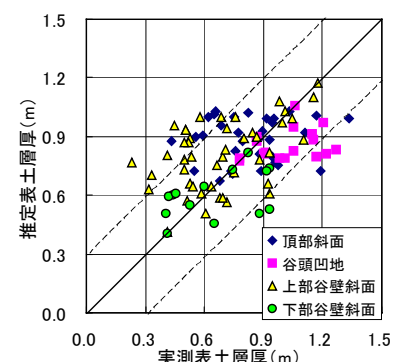


図-6 実測表土層厚と推定表土層厚の比較