

黒ぼくの土壌流出に影響する侵食因子に関する研究

I. 成層の透水性と斜面勾配について

田熊勝利*, 猪迫耕二*, 中原 恒**

平成16年10月29日

*鳥取大学農学部, **鳥取市役所

Study on Erosion Factors Affecting Kuroboku Soil Loss

I. Water Permeability of Stratified Soil and Slope Gradient

Katsutoshi Takuma*, Koji Inosako*, Hisashi Nakahara**

**Department of Environmental Engineering Faculty of Agriculture, Tottori University, Tottori 680-8553, Japan*

***Tottori-shi, Tottori 680, Japan*

The authors examined the factors of bed soil affecting the loss of surface soil and the effects of these factors on the extent of the soil loss. They conducted a multivariate analysis using actual measurement value at a laboratory erosion experiment. They also conducted a simulation of erosion in soil loss using the bed soil factors.

Soil loss quantity is dependent on the coefficient of permeability of bed soil; the larger the latter is, the more the former decreases. Soil loss quantity is also dependent on the gradient of a slope: the steeper the latter is, the more the former increases. Lateral soil scattering quantity is not much affected with the permeability of bed soil, nor with the gradient of a slope. When the slope gradient of bed soil is equal, soil loss quantity is affected with the coefficient of permeability and the ignition loss of the bed soil. On the otherhand, when the slope gradient of bed soil is different, soil loss quantity is most affected with the slope gradient, followed by the coefficient of permeability of the bed soil.

(Received 29 October 2004)

Key words: Kuroboku soil, permeability of the bed soil, soil loss

緒 言

降雨による侵食は、雨滴による表層土の剥離と運搬から始まる。もし、降雨量が土の浸透量より多いならば、地表に流出水を生じ、流出水による表層土の剥離と運搬が起きる。この剥離と運搬という2つの現象は、降雨量などの気象要因や表層土の物理特性、地形特性などに影響を受ける。しかし、同じ特性を持つ表層土に対しても、

場所により流出土量に差が生じることがある。この差を引き起こす要因として、成層の透水性と斜面勾配が挙げられる。そこで、本研究では成層の透水性と斜面勾配に着目し、上層・下層の2層構造にした実験土槽を用いて侵食実験を行い、実測値の多変量解析と物理的な現象で構成されている侵食過程モデルを用いたシミュレーションから、表層土の流出に及ぼす侵食因子と影響について検討を行った。

第1表 試料土の基礎的性質

試料土名	上層土		下層土				
	蒜山黒ぼく土	蒜山粘性土	西高尾土	外邑土	栃本土	関金土	
土粒子密度 (g/cm ³)	2.269	2.668	2.627	2.667	2.640	2.651	
透水係数 (cm/s)	1.34 × 10 ⁻⁴	7.05 × 10 ⁻⁴	1.04 × 10 ⁻⁴	1.07 × 10 ⁻⁴	3.70 × 10 ⁻⁴	6.22 × 10 ⁻⁴	
液性限界 (%)	89.7	61.9	56.7	72.6	49.1	NP	
塑性限界 (%)	6.7	23.5	41.3	34.2	18.4	NP	
粒径分布	礫分 (%)	0.0	0.0	6.5	0.0	9.4	50.1
	砂分 (%)	65.6	4.1	29.9	13.2	53.8	41.6
	シルト分 (%)	24.4	49.9	33.6	47.8	14.8	5.9
	粘土分 (%)	10.0	46.0	30.0	39.0	22.0	2.5
強熱減量 (%)	39.1	10.3	9.2	12.8	13.1	1.7	
乾燥密度 (g/cm ³)	0.79	0.925	1.15	0.895	0.979	1.349	

実験に用いた試料土は、蒜山黒ぼく土及び蒜山粘性土(鳥取大学蒜山演習林敷地内)、栃本土(岩美郡国府町栃本)、外邑土(岩美郡岩美町外邑)、西高尾土(東伯郡東伯町西高尾)と関金土(東伯郡関金町)を用いた。試料土の基礎的性質について第1表に示す。

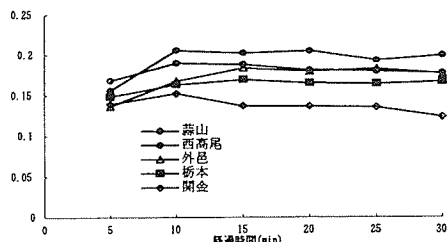
実験方法

(1) 試料土の基礎的性質

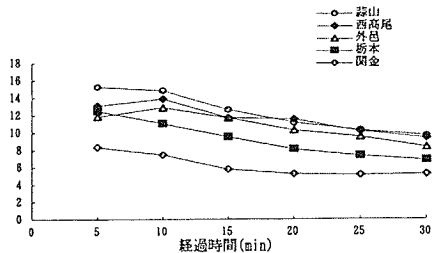
侵食実験に用いる各土壌について基礎的性質を知るため、土粒子の密度試験、透水試験、液性塑性試験、強熱減量試験と粒度試験を行った。

(2) 侵食実験

実験には、長さ30cm、幅10cm、深さ6cmの実験土槽を用いた。実験土槽の底に風乾した砂丘砂を乾燥密度1.56g/cm³、厚さ2cmになるよう敷き詰め、その上に試料土を下層土として厚さ2cm、さらにその上に上層土を厚さ2cmで充填した。上層土には蒜山黒ぼく土を、下層土には蒜山粘性土、栃本土、外邑土、西高尾土と関金土の5種類を用いた。なお、これらの充填は風乾状態の試料土で行った。以下、それぞれの実験土槽を下層土の試料土名を用いて示す。実験は試料土充填後、土槽下部に設けた排水口より毛管飽和させ、24時間排水した土槽を用いた。鳥取大学乾燥地研究センターアリドドーム内の人工降雨装置を使用し、高さ12mから4、7、10、13°の各勾配で設置した土槽に、降雨強度約40mm/hで降雨を発生させた。降雨開始から浸透水量、流出土量、流出水量と飛散土量を5分毎に30分間採取した。ここで、飛散土量は実験土槽外に飛散した土量で横方向のみの土量とする。



第1図 流出水量の経時変化



第2図 流出土量の経時変化

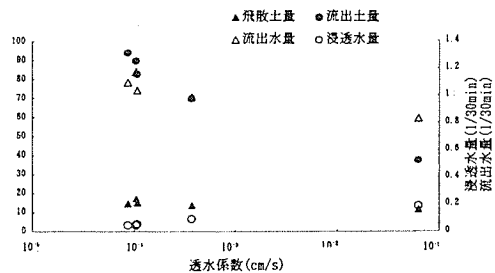
結果と考察

(1) 試料土の基礎的性質

第1表に試料土の基礎的性質を示す。また、第1表内の乾燥密度は侵食実験土槽に充填した際の各試料の乾燥密度を示している。

(2) 侵食実験

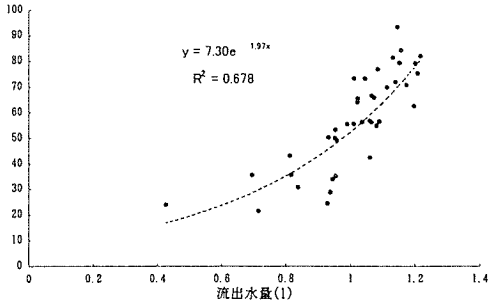
侵食実験の各土槽における流出水量、流出土量の経時変化をそれぞれ第1、2図に示す。第1図から流出水量は各土槽とも実験開始から10分後にピークを迎え、その後一定となっていることから、実験開始10分間で雨滴による表層面の攪乱がクラストを形成し、流出水量が一定状態となったと考えられる。第2図の流出土量は時間の経過とともに減少の割合が少なくなっている。実験開始後から流出水量の増加とともに流出土量は増加するが、流出水量が一定状態になるため減少の割合が少なくな



第3図 下層土の透水係数と侵食量

たとえられる。また、第1、2図から下層土の透水係数の高い試料土ほど流出土量、流出水量ともに低い値になっている。

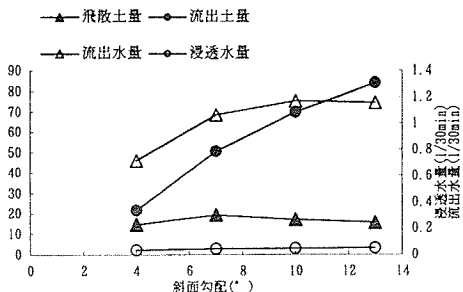
そこで、第3図に下層土の透水係数と飛散土量、流出土量、流出水量と浸透水量の関係を示す。流出水量、流出土量はともに下層土の透水係数が高いほど減少している。実験土槽に供給される降雨量は一定であるが、浸透水量は下層土の透水係数が高いほど増加しているため、流出水量は減少している。流出土量は、流出水量が下層



第4図 流出土量と流出水量の関

土の透水係数が高いほど減少し、輸送能力が低下するため減少していったと考えられる。飛散土量は一定値を示し、下層土の透水係数の変化にあまり影響を受けない。また、第3図から下層土の透水係数の増大ともなう流出土量と流出水量の減少の傾向が異なっている。そこで、第4図に流出土量と流出水量の関係を示す。指数曲線で近似され、重相関係数も0.678と高い。つまり、流出水量の増減が流出土量に大きく影響することが分かる。

第5図に斜面勾配の変化と飛散土量、流出土量、流出水量と浸透水量の関係を示す。図は西高尾土のものであるが、その他の4試料土についても同様な傾向を示している。図から斜面勾配7から13°において、流出水量があまり増加していないにもかかわらず、流出土量が斜面勾配の増加に伴い増大していることが分かる。これは実験土槽の勾配の増加に伴い表流水の速度が増加し、剥離した土壌に対する輸送能力が上がったと考えられる。また飛散土量に関しては、横方向のみの飛散を測定したた



第5図 斜面勾配と侵食値

第2表 説明変数と回帰係数(重回帰分析)

分析				
変数名		偏回帰係数		標準偏回帰係数
	定数項	a_0	99.022	
x_1	下層土透水係数	a_1	-30224.827	-1.359
x_2	下層土強熱減量	a_2	-2.436	-0.651
重回帰式 $E = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2$ (E : 流出土量)				

分析				
変数名		偏回帰係数		標準偏回帰係数
	定数項	a_0	-4.389	
x_1	斜面勾配	a_1	346.967	0.653
x_2	下層土透水係数	a_2	-15625.93	-0.513
x_3	上層土初期含水比	a_3	0.136	0.161
重回帰式 $E = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3$ (E : 流出土量)				

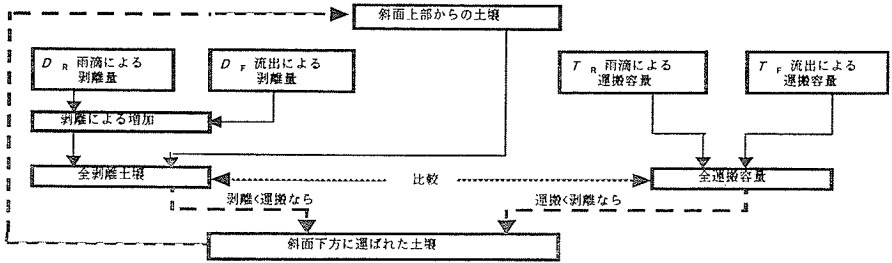
め、ほぼ一定値を示し、斜面勾配にあまり影響を受けないことが分かる。

(3)多変量解析による分析

重回帰分析によって流出土量に影響する侵食因子(説明変数)と、流出土量(目的変数)を求める予測式を検討した。重回帰分析に用いる説明変数の選択方法を2通り考慮した。一つは(以下、分析A)、下層土の相違による流出土量を検討するため下層土の透水係数、強熱減量、乾燥密度、土粒子の密度の下層土における基礎的性質と降雨強度の5つを説明変数として考慮した。もう一つは(以下、分析B)、下層土の透水係数、強熱減量、乾燥密度、土粒子の密度、降雨強度、上層土の実験前の初期含水比、斜面勾配の7つを説明変数として考慮し、分析Aに斜面勾配と初期条件である上層土の初期含水比を加えたものとした。分析A、Bとも説明変数は有意水準5%という条件で選択し、選択された説明変数と重回帰分析の結果、得られた重回帰式の回帰係数を第2表に示す。分析Aで選択された説明変数は2つとなった。重回帰式の分散分析表による検定結果は1%水準で有意となり、求められた重回帰式は有意性が認められ、重相関係数は0.802で高い相関を得られた。標準偏回帰係数から流出土には下層土の透水係数、次いで強熱減量が影響していることが分かる。分析Bで選択された説明変数は3つとなった。重回帰式の分散分析表による検定結果は1%水準で有意となり、求められた重回帰式は有意性が認められ、重相関係数は0.868で高い相関が得られた。標準偏回帰係数から流出土量に最も強く影響するのは斜面勾配、次いで下層土透水係数であると考えられる。結果、斜面が同一勾配の土壌の場合は下層土の透水係数の影響を受け、斜面勾配の異なる土壌の場合は斜面勾配に最も影響を受け、次いで下層土の透水係数に影響を受けることが分かった。

第3表 4つの侵食過程の力学基礎方程式

	雨滴	表面流出
剥離	$D_R = S_{DR} A I^2$ D_R : 雨滴により剥離した土粒子の量 S_{DR} : 土壌の性質による係数 A : 斜面の調査地域の面積 I : 降雨強度	$D_F = S_{DF} A Q^{2/3} S^{2/3}$ D_F : 表面流出により剥離した土粒子の量 S_{DF} : 土壌の性質による係数 Q : 表面流出の大きさ S : 斜面勾配
	$T_R = S_{TR} S I$ T_R : 雨滴によって運搬された土粒子の量 S_{TR} : 土壌の性質による係数	$T_F = S_{TF} Q^{5/3} S^{5/3}$ T_F : 表面流出によって運搬された土粒子の量 S_{TF} : 土壌の性質による係数



第6図 Meyer と Wischmeier による侵食過程モデル

(4) 侵食過程モデルを用いたシミュレーション

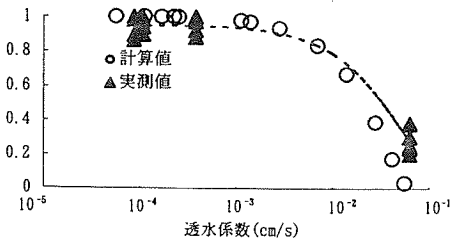
侵食実験で得た実測値と、物理的な現象で構成されている Meyer と Wischmeier による侵食過程モデル [2] を用いたシミュレーションによる予測値を定性的に比較し、侵食実験で得た実測値 [1, 3-7] の傾向と多変量解析の結果から得られた流出土量に影響を及ぼす侵食因子を検討した。

このモデルは2つの機構によって侵食が発生するとし、一つの機構は表層土の雨滴による剥離 (D_R) と表面流出による剥離 (D_F)、もう一つの機構は雨滴による運搬容量 (T_R) と表面流出による運搬容量 (T_F) である。この4つの過程は4つの力学方程式で表される(第3表)。

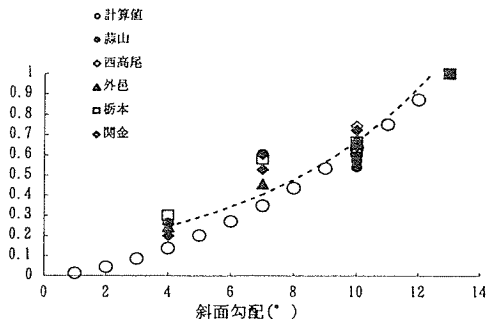
このモデルにおいて、流出土量は剥離によって生じる土壌量と運搬可能な土壌容量の多少により決定される。

斜面上部から下部までをいくつかのコンパートメントに分割し、斜面上部よりコンパートメントごとに全剥離土壌量 ($D_R + D_F$) と全土壌運搬容量 ($T_R + T_F$) を比較することで、小さい方の値を下方のコンパートメントに運搬された流出土とし、最終的に斜面下部のコンパートメントで下方に運搬された値が流出土量となる(第6図)。

透水係数と相対流出土量の関係を第7図に、斜面勾配と相対流出土量の関係を第8図に示す。実測値と計算値の流出土の傾向を比較するため、それぞれの最大値に対する相対流出土量を用いた。第7図から実測値と計算値は同様な傾向が見られる。第8図からも各試料土の実測値と計算値は、下層土の透水係数に関わらず同様の傾向が見られた。以上のことから、侵食実験結果と多変量解析による分析結果と同様、透水係数と斜面勾配の大小が



第7図 透水係数と相対流出土量の関係



第8図 斜面勾配と相対流出土量の関係

流出土量に影響を及ぼし、透水係数と斜面勾配が侵食因子であることが物理的なモデルからも推測された。

総 括

本報では、表層土の流出に及ぼす因子と影響について検討するため、既存の侵食実験値と今回の実験から得られた実測値の多変量解析と力学的な式で構成されているモデルを用いたシミュレーションを行った。その結果、以下のことが分かった。

流出土量は下層土の透水係数に影響し、下層土の透水係数が高いほど流出土量は減少することが分かった。また流出土量は斜面勾配に影響し、斜面勾配が大きいほど流出土量は増加する。そして流出土量は斜面が同一勾配の土壌の場合、下層土の透水係数と強熱減量に影響を受け、斜面勾配の異なる土壌の場合は斜面勾配に最も影響を受け、次いで下層土の透水係数に影響を受ける。

横方向への飛散土量は下層土の透水性によって大きな影響を受けない。また、斜面勾配の大小にも影響を受けない。

参 考 文 献

- 1) 藤川武信, 内田勝利: 土性と飛散侵食について—土の初期水食に関する土質理工学的研究(I)—, 農業土木学会論文集, 90, (1980)
- 2) Meyer, L. D. and W. H. Wischmeier: Mathematical Simulation of the Process Soil Erosion by Water, TRANSACTIONS of ASAE, 754-758, 762. (1969)
- 3) 田熊勝利, 河野洋: 黒ぼくの地表薄層流による侵食特性, 農業土木学会論文集, 100, 22-27. (1982)
- 4) 田熊勝利, 安田 裕: リル網形態の発達過程と土壌特性, 鳥取大学農学部研究報告, 48: 23-26 (1995)
- 5) 田熊勝利, 猪迫耕二, 安田 裕, 村本康敬: 降雨強度の変化が土壌流亡に与える影響, 鳥取大学農学部研究報告, 53, 17-20 (2000)
- 6) 内田勝利, 河野洋, 小谷佳人: 大山ロームにおける土壌侵食の実験的研究—表面流による侵食—, 鳥取大学農学部研究報告, 27, 136-141. (1975)
- 7) 内田勝利: 乱した土の初期水食に及ぼす下層土の透水性の影響, 農業土木学会誌, 50(6), 477-480. (1982)