

特殊土壌の受食性の評価および土壌の物理的特性と受食係数との関係性の検討 Evaluation of Erodibility for Japanese Locally Distributed Problem Soil and Relationship between Soil Physical Properties and Erosion Coefficients

○川名 未紗*, 石崎 弘真**, 大澤 和敏***

○Misa KAWANA*, Hiromasa ISHIZAKI**, and Kazutoshi OSAWA***

1. はじめに

農地の地力低下や生態系への悪影響を引き起こす土壌侵食は、農業基盤や環境保全等の視点において深刻な問題であり、その実態を解析・評価する必要がある。米国農務省により開発されたWEPP(Water Erosion Prediction Project)は、プロセスベースで土壌侵食量を推定するモデルであるが、入力値の一つであり土壌の侵食の受けやすさを表現する受食係数については検討の余地がある¹⁾。また、土壌の受食性は土粒子の粘着性の影響を受ける可能性がある。そこで本研究では、侵食に起因した大規模崩壊等が発生する特殊土壌(シラスとマサ土)²⁾を対象に室内試験による受食性の評価とWEPPによる侵食解析を実施するとともに、液塑性限界試験に基づく土壌の物理的特性と受食係数との関係性について検討することを目的とする。

2. 研究方法

【侵食試験方法】土壌侵食は雨滴衝撃によって発生するインターリル侵食と、地表流によって土粒子が剥離・運搬されるリル侵食に大別される。WEPPにおける受食係数は、インターリル受食係数 K_{ib} [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-4}\cdot\text{s}$], リル受食係数 K_{rb} [$\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$], 限界掃流力 τ_{cb} [Pa]で構成され、次式の侵食過程で用いられる。

$$D_i = K_{ib} \cdot I \cdot \sigma \cdot S \quad (1) \quad D_f = K_{rb}(\tau_f - \tau_{cb}) \quad (2)$$

ここで、 D_i : インターリル侵食量 [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$], I : 降雨強度 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$], σ : 流出高 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$], S : 傾斜の補正係数[無次元], D_f : リル侵食量 [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$], τ_f : 表面流の掃流力 [Pa].

九州地方の特殊土壌であるシラスとマサ土を供試土として侵食試験を実施した。インターリル侵食試験では、土壌槽と降雨装置を用いて、降雨強度や傾斜を変更し、採水試料に含まれる流出土砂量および試験の諸条件から K_{ib} を算出した。リル侵食試験では、土壌槽と定量ポンプを用いて、流量や傾斜を変更することで流出土砂量を測定し、 K_{rb} および τ_{cb} を算出した。

【WEPP の解析条件】シラスとマサ土について、Table 1 に示す解析条件でWEPPによる侵食解析を行った。

気象データ	鹿児島気象台の観測値による 100年間の仮想データ
地形データ	斜面長100m, 勾配3%
管理データ	栽培作物なし(裸地), 縦畝
土壌データ	本研究において実測した値 (受食係数・粒度・有機物含有率)

【液塑性限界試験方法】受食係数が同定済みの供試土7土壌(Table 2)についてJIS A 1205の規定に則り液塑性限界試験を実施した。算出された指数と受食係数を比較することで、受食係数を説明し得る指標を検討する。また、塑性指数 I_p とタフネス指数 I_t は次式で計算される。

$$I_p = w_L - w_p \quad (3) \quad I_t = I_p / I_f \quad (4)$$

ここで、 w_L : 液性限界, w_p : 塑性限界, I_f : 流動指数 (=液性限界試験における流動直線の傾き)。

3. 結果と考察

侵食試験・粒度試験から算出した受食係数と粒度分布、また液塑性限界試験とその諸計算結果をTable 2 に示す。なお、塑性限界が測定できなかった供試土についてはNP(非塑性)と表示している。

* 宇都宮大学大学院地域創成科学研究科 (Graduate School of Regional Development and Creativity, Utsunomiya University)

** 水環境プランニング (Aqua Environment Planning Co., Ltd.)

*** 宇都宮大学農学部 (School of Agriculture, Utsunomiya University)

キーワード: 農地保全, 土壌侵食, 特殊土壌

Table 2 侵食試験・粒度試験等の結果および液塑性限界試験・諸指数計算の結果
Results of erosion tests particle size tests, etc. and results of liquid plasticity limit tests and calculations

土壌	K_{rb} [kg·m ⁻⁴ ·s]	K_{rb} [s·m ⁻¹]	τ_{cb} [Pa]	粘土 [%]	砂 [%]	有機物 含有率[%]	平均浸透 損失水量 [L/min]	液性限界 w_L [%]	塑性限界 w_p [%]	塑性指数 I_p [%]	流動 指数 I_f	タフネス 指数 I_t
マサ土	0.42×10 ⁶	0.29×10 ⁻²	0.65	15.6	62.1	7.9	0.5	42	30	12	25.7	0.47
シラス	0.73×10 ⁶	4.28×10 ⁻²	0.73	1.2	69.8	8.4	0.08	47	NP	-	16.3	-
黒ボク土(標茶)	0.63×10 ⁶	2.80×10 ⁻²	0.39	0.1	38.7	9.8	-	43	NP	-	11.9	-
黒ボク土(津別)	0.55×10 ⁶	0.63×10 ⁻²	1.93	8.0	53.3	7.3	0.09	35	28	7	11.0	0.64
褐色森林土	0.02×10 ⁶	1.40×10 ⁻²	0.42	39.1	24.2	14.4	0.09	43	NP	-	5.8	-
ジャーガル	1.12×10 ⁶	0.04×10 ⁻²	4.53	49.7	12.1	11.3	0.06	54	24	30	10.2	2.94
国頭マーヅ	1.22×10 ⁶	0.35×10 ⁻²	1.69	33.9	18.2	7.8	-	33	17	16	11.5	1.39

※白欄は参考値(石崎からの私信)

【シラスとマサ土の受食性】リル侵食試験での平均浸透損失水量の結果(Table 2)より、マサ土は透水性が大きいことがわかった。このことから、流水が土中へ浸透することによって下向きの力が作用し剥離が抑制されたため K_{rb} が小さい値であったと考えられる。一方、シラスの粘土分は非常に少なく粘着性が小さかったことや、有機物含有量も少なく団粒構造が未発達だったことが原因となり、 K_{rb} は他土壌に比べて非常に大きかった。この特徴から豪雨などの降水に対して脆弱な土壌であることがわかる。これらを含む7土壌の侵食試験結果から、 K_{rb} に関して、土粒子の粘着性や結合力が影響していると考えたため、後述の液塑性限界試験によって土壌の粘着性と受食性との関係について検討した。

【WEPPによる侵食解析】WEPPによる解析結果をTable 3に示す。マサ土の侵食量推定値はシラスの約3倍であり、室内試験で得られた K_{rb} の大小関係と逆の結果となった。これは解析過程においてシラスは浸透量が多く、長時間で緩やかな流出過程を経たことが解析結果に影響したと考えられる。一方、シラスには含水比が高くなると力学的性質が突如弱くなるという特徴があるため³⁾、本研究の入力値ではWEPPにおいてシラスの特殊性を再現できなかった可能性も考えられる。

【タフネス指数と受食性】タフネス指数 I_t は、土粒子の形状や鉱物組成によって異なる粘り強さを表現した値である⁴⁾。 I_t と K_{rb} および τ_{cb} の関係性をFig. 1, Fig. 2に示す。 I_t と K_{rb} は減衰型の指数関数で近似され、粘り強い土壌であるほど受食性が小さい傾向にあることが分かった。また I_t と τ_{cb} は正の直線関係があり、粘り気の弱い土壌であるほど小さい掃流力で侵食が発生することを表現していることが分かった。どちらも合理的な関係性が見られたことから、 K_{rb} と τ_{cb} を説明する変数として、 I_t が有用なパラメータの一つとなり得ることを新たに示すことができた。

4. 結論と今後の課題

シラスはリル受食係数 K_{rb} が著しく大きく、現地で問題となっている大規模崩壊に類推する侵食過程を観測できた。また液塑性限界試験結果によって算出されたタフネス指数 I_t は、 K_{rb} と限界掃流力 τ_{cb} を推定するための有用なパラメータとなる可能性が示唆された。今後は試験を重ね、受食係数と I_t の関係性をより明確にした上で定式化し、受食係数を推定するために利用することが期待される。

【引用文献】

- 1) 町田元：沖縄県における赤土流出の解析を目的とした WEPP モデルの適用性の向上，農業農村工学会大会講演会講演要旨集，350-351，2019。2) 斎藤健，松木勝，柄林貞義，高居和弘：農地の保全と防災（その5），農業土木学会誌，第53巻，第10号，47-56，1985。3) 井尻吉門：シラス土壌の実態と農地保全対策について，農業土木学会誌，第46巻，第3号，170-175，1978。4) 栗津清藏，安川郁夫，今西清志，立石義孝：絵とき土質力学改定3版，36-39，1998。

Table 3 WEPPによる侵食解析結果
Results of erosion analysis by WEPP

土壌	年間総侵食量 [kg·m ⁻² ·yr ⁻¹]	リル侵食量 の割合[%]
マサ土	4.9	95.7
シラス	1.6	83.0

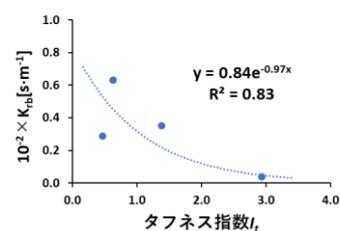


Fig. 1 タフネス指数 I_t と K_{rb} の関係
Correlation of toughness index I_t and K_{rb}

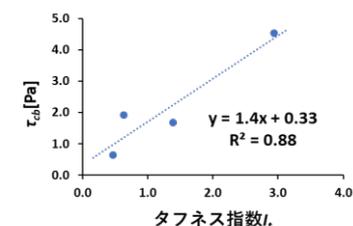


Fig. 2 タフネス指数 I_t と τ_{cb} の関係
Correlation of toughness index I_t and τ_{cb}