

受食係数推定式の改良を目的とした液塑性限界指標パラメータの有用性の検討

Investigation of the applicability of liquid plasticity limit index parameters for improving the soil erodibility estimation formula

○川名 未紗*, 大澤 和敏**

○Misa KAWANA*, Kazutoshi OSAWA**

1. はじめに

農地の地力低下や自然環境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。そのため、気象、営農管理、土壌、地形条件を入力することでプロセスベースに土壌侵食量を推定する WEPP(Water Erosion Prediction Project)が開発された¹⁾。ここで、重要な入力値である土壌固有の侵食のされやすさを示す受食係数は、侵食試験によって定めることが望ましい。しかし、試験設備などの制約があることから、多くの場合は粒度や有機物含有量を変数とした経験的な推定式を用いて算出する。一方で WEPP は米国農務省により開発されたため、日本土壌へ推定式を適用したときの推定値は不適切な場合がある²⁾。そのため、石崎³⁾は日本土壌 15 種を対象として粒度試験および侵食試験を行い、新たな受食係数推定式を構築したが、粒度のみの変数では土壌の受食性について説明しきれないということが課題として残った。一方、既往研究においては、土壌の受食性を説明する変数としてせん断強度や分散率など、さまざまなパラメータの検討がなされており⁴⁾、中でも塑性指数が受食性に影響を与えるパラメータであることが示唆される⁵⁾⁶⁾。そのため本研究では、日本土壌に適したより高精度な受食係数推定式を構築するために、液塑性限界指標のパラメータとしての有用性を検討することを目的とする。

2. 研究方法

【侵食試験方法】土壌侵食は雨滴の衝撃によって発生するインターリル侵食と、地表流の発生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]で構成されるが、本研究では特にリル受食係数と限界掃流力に着目した。それぞれの受食係数は以下の式で示される。

$$D_f = K_{rb}(\tau_f - \tau_{cb}) \quad (1)$$

ここで、 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]。

本研究では広島県と福岡県、鹿児島県の計 4 地点の畑地土壌を供試土としてリル侵食試験を実施した。リル侵食試験では、土壌槽(縦 50 cm, 幅 5 cm)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。なお、北海道と沖縄県の計 6 地点の畑地土壌を供試土とした実測データは石崎³⁾からの私信を使用した。

【物理試験方法】粒度試験について、ふるい分析は JIS A 1204 規定、沈降分析は ISO 11277 規定に則り圧力変化から粒度を算出する装置 (PARIO, アイネクス社) を用いた。液塑性限界試験は JIS A 1205 規定に則って実施した。塑性指数 I_p は液性限界値から塑性限界値を差し引いて求められる。

* 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)

** 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

3. 結果と考察

10種の日本土壌を用いて侵食試験と粒度試験、液塑性限界試験を実施した。粘土含有率とリル受食係数の関係を Fig. 1 に示す。塑性土壌と非塑性土壌ではリル受食係数の取りうる範囲が異なった。このことから、土壌が塑性を示すか否かで場合分けをすれば、粒度を変数とした既存式より高精度な推定式が構築可能だと考えられる。

ここで、塑性とは亀裂や体積変化を生じることなく形状を変える性質を指す。水膜が関係する界面現象であるため、土粒子表面の性質や電気的二重層と吸着水の影響を受ける⁷⁾。そのため、土粒子の大きさや形状、鉱物組成による表面活性の違いが水分子の吸着のしやすさに差異を生じ、その違いを液塑性限界指標によって表すことができると考えられる。ここで、塑性指数は塑性体として振る舞う含水比の幅である。塑性指数の値が大きいほど粘質土であり、表面活性が高い傾向がみられる。

塑性を示した7種の土壌について、実測した塑性指数とリル受食係数、塑性指数と限界掃流力の関係性をそれぞれ Fig. 2, Fig. 3 に示す。塑性指数とリル受食係数は減衰型の指数関数で近似され、実測値に対する推定値の最大誤差は、既存式において160%だったのに対し、塑性指数の近似式では37%だった。負の相関がみられた要因として、大きな塑性指数を示す土壌ほど水分子が吸着しやすい傾向があるため、掃流力という外力に対して土壌構造の安定性が保たれることから受食性が小さくなったと考えられる。また、塑性指数と限界掃流力は正の比例関係がみられ、表面活性の弱い土壌であるほど小さな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。ここで、最大誤差は既存式で438%、塑性指数の近似式で156%であり、リル受食係数・限界掃流力ともに塑性指数の式は既存式よりも当てはまりの良い結果となった。したがって、どちらも合理的な関係性が見られたことから、塑性指数は塑性を示す土壌の受食性を説明する上で重要なパラメータであると言える。

4. 結論と今後の課題

さまざまな日本土壌を用いて侵食試験と液塑性限界試験を実施した結果、塑性土壌と非塑性土壌では受食係数の取りうる範囲が異なることが示された。また、塑性土壌に関しては、塑性指数をパラメータとすることでリル受食係数と限界掃流力を推定できる可能性がある。今後は、非塑性土壌についても塑性指数とは異なる指標を用いて受食係数推定式を別途検討する必要がある。液塑性限界試験は基本的な土質試験であるため、液塑性限界指標を用いることで、利用しやすく、より精度の高い受食係数推定式を提案できることが期待される。

引用文献

- 1) Flanagan et al : Water Erosion Prediction Project (WEPP) : Development History, Model Capabilities, And Future Enhancements, American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN Vol.50(5), pp.1603-1612, (2007)
- 2) 町田ら：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, pp.350-351, (2019)
- 3) 石崎弘真：WEPP の日本における適用性向上を目指した土壌の受食性の評価, 宇都宮大学大学院修士論文要旨, (2021)
- 4) Knapen et al : Resistance of soils to concentrated flow erosion: A review, Earth-Science Reviews 80, pp.75-109, (2007)
- 5) Smerdon and Beasley : The Tractive Force Theory Applied to Stability of Open Channels in Cohesive Soils, (1959)
- 6) Allen et al : Use of a submerged jet device to determine channel erodibility coefficients of selected soils of Mexico, the Journal of Soil and Water Conservation Volume 57, Number 5, pp.272-277, (2002)
- 7) 土質工学会：土質試験の方法と解説, pp.509-525, (1990)

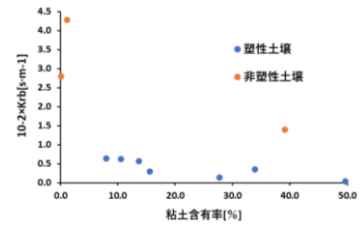


Fig. 1 粘土含有率とリル受食係数
Correlation of clay content and Krb

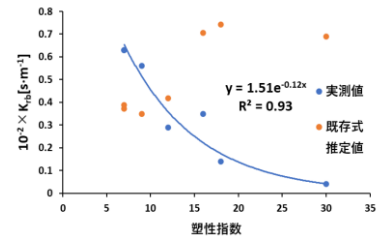


Fig. 2 塑性指数とリル受食係数
Correlation of plasticity index and Krb

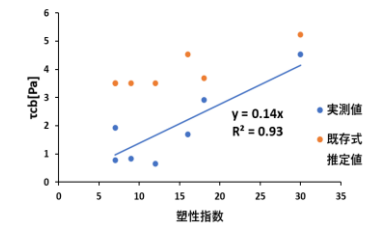


Fig. 3 塑性指数と限界掃流力
Correlation of plasticity index and T_{cb}