

傾斜畑の農地保全のための圃場整備と 営農管理の計画手法

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 水利基盤チーム ○鶴木 啓二
国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 水利基盤チーム 池上 大地

農地の大区画化は複数の圃場を1筆に整理することで作業性の向上が期待される。一方で、傾斜畑において傾斜方向に圃場面積が拡大すると、斜面が長くなることにより土壌侵食の危険性が上昇する。農地の生産性を維持するためには、土壌流出量を許容値以下に抑制する必要がある。本稿では、汎用土壌流出量予測式USLE (Universal Soil Loss Equation) を用い、傾斜畑の農地保全に求められる圃場整備と営農管理条件の検討方法を示す。

キーワード：USLE、斜面長、斜面勾配、年間許容流出土量

1. はじめに

農地の大区画化は複数の圃場を1筆に整理（合筆）することで作業性の向上が期待される。一方で、傾斜畑において傾斜方向に圃場面積が拡大すると、斜面が長くなることにより土壌侵食の危険性が上昇する。農地の土壌侵食は肥沃な土壌が流出することによる生産性の低下を引き起こすことから、許容値に抑える必要がある。農林水産省から発行されている「土地改良事業計画指針 農地開発（改良山成畑工）」¹⁾（以降、事業計画指針と記す）では、表土層が0.3m以上であれば、農地の年間許容流出土量（以降、許容流出土量と記す）は $10\sim 15\text{tf}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ 以下としており、これを超過しないことが農地の生産性維持のために必要と考えられる。

傾斜畑における土壌侵食の抑制には、斜面長を短くしたり、斜面勾配を緩くする圃場整備、土壌保全的な農地管理、受食性の低い作物への転換など、圃場を適切に整備・管理する手法が考えられる。本稿では、汎用土壌流出量予測式USLE (Universal Soil Loss Equation) を用い、傾斜畑の農地保全に求められる圃場整備と営農管理条件の検討方法を示す。なお、本稿では農地保全の観点から安全側にみて許容流出土量を $10\text{tf}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ とする。

2. USLE概要

USLEは米国農務省を中心に開発された土壌流出量予測のための経験モデルであり、侵食を引き起こす要因を定量評価し、その地域に適合する保全方法の指針を与えることを目的として利用される。日本でも農業農村整備事業において土壌流出量の予測に利用されてきた。USLEによる土壌流出量の予測は、6つの係数の積で次式

のように表される²⁾。

$$A=R\cdot K\cdot L\cdot S\cdot C\cdot P \quad (1)$$

ここに、 A は単位面積当たり流出土量 ($\text{tf}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$)、 R は降雨係数 ($\text{tf}\cdot\text{m}^2\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$)、 K は土壌係数 ($\text{h}\cdot\text{m}^2$)、 L は斜面長係数（無次元）、 S は傾斜係数（無次元）、 C は作物係数（無次元）、 P は保全係数（無次元）である。 LS は合わせて地形係数とも呼ばれる。

3. USLEの各係数

(1) 降雨係数(R)

土壌侵食（水食）は降雨と融雪により引き起こされる。積雪寒冷地の場合、式（1）の降雨係数（ R ）は降雨期（4～11月）の降水量から算出される降雨流出係数（ $R_r : \text{tf}\cdot\text{m}^2\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ）と降雪期（12～3月）の降水量から算出される融雪流出係数（ $R_s : \text{tf}\cdot\text{m}^2\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ）の年間値の和として算出される。

降雨流出係数（ R_r ）は、侵食性降雨の運動エネルギー E ($\text{m}\cdot\text{tf}\cdot\text{ha}^{-1}$) とその降雨の最大30分間降雨強度 I_{30} ($\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$) の積である降雨侵食指数 EI_{30} ($\text{tf}\cdot\text{m}^2\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) の年間（4～11月）合計値である。侵食性降雨とは、一連降雨（無降雨時間6時間以内）の降水量が12.7mm以上、または15分当たりの降水量が6.35mm以上と定義されている。算出式は以下のように示されている。

$$Es=(210+89\log I)\cdot r \quad (I\leq 76\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}) \quad (2)$$

$$Es=288\cdot r \quad (I> 76\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}) \quad (3)$$

$$EI_{30}=\sum Es\cdot I_{30}/100 \quad (4)$$

$$R_r=\sum EI_{30} \quad (5)$$

ここに、 I ($\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$) は区間雨量の降雨強度、 r (cm) は区間雨量、 Es ($\text{m}\cdot\text{tf}\cdot\text{ha}^{-1}$) は区間降雨エネルギーである。

融雪流出係数（ R_s ）は、USLEの技術書²⁾通り降雨流出

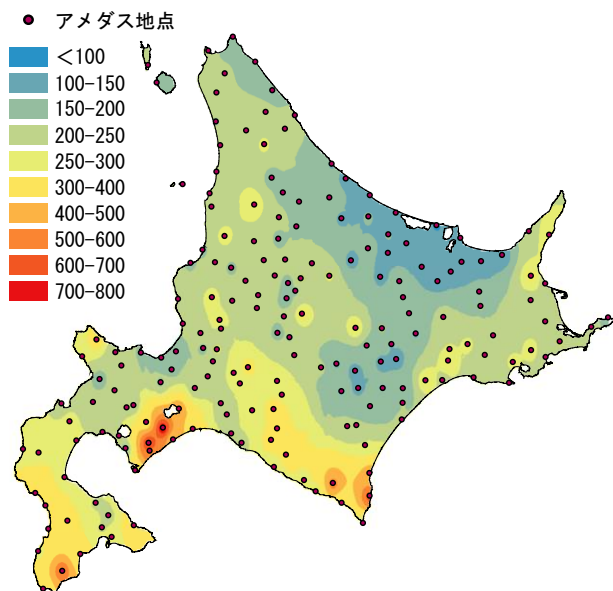


図-1 降雨係数の全道分布状況

係数算出年の前年12月から当年3月までの降水量 (mm) を0.1倍することで求めた。

上記定義に従い、北海道内のアメダス観測所を対象に、1994年4月から2023年11月まで10分値の降雨データが揃っている196点について降雨係数の平均値を算出し、GISの内挿機能により全道の分布図を作成した(図-1)。各地点の値は、既報³⁾に示しているので参考にされたい。全道の平均値は236で、150～250の地点が多い。値の高い地域は、道南、胆振、日高で250以上の地点が多い。一方、値の低い地域はオホーツク沿岸南部で150以下の地点が多い。

(2) 土壌係数(K)

土壌係数(K)は、降雨時の雨滴や地表流による外力に対する土壌の受食性を示す係数である。現地試験による精度の高い土壌係数の導出には、長期間の観測が必要となるが、USLEの技術書²⁾には、土壌の粒度組成や有機物含有量、土壌構造、透水性から土壌係数を決定できる推定式が用意されている。谷山⁴⁾は、この推定式を用いて土壌環境基礎調査(定点調査)のデータから全国の農地土壌の土壌係数を算出しており、本稿でもこれを利用する。表-1に、谷山⁴⁾が算出した土壌係数を国土交通省の20万分の1の土地分類図(土壌図)の土壌分類に合わせて著者⁵⁾が整理した土壌係数を示す。この数値は各土壌の平均的な値であるため、対象地における土壌理化学性が分かっている場合、上記の推定式で算出したほうが正確である。

(3) 地形係数(LS)

地形係数(LS)は、傾斜地における勾配と斜面長の侵食への影響を表す係数である。USLEの技術書²⁾では、以下の式による算出方法を示している。L値は斜面長

表-1 20万分の1土地分類図(土壌図)の土壌区分に対応した土壌係数(K)

大分類		単位(h・m ⁻²)
小分類		K
未熟土	残積性未熟土壌	0.19
	砂丘未熟土壌	
	湿性砂丘未熟土壌	
	火山抛出处未熟土壌	0.34
	粗粒火山抛出处未熟土壌	
黒ボク土	湿性粗粒火山抛出处未熟土壌	0.12
	未熟黒ボク土壌	
	黒ボク土壌a, b	
	累層黒ボク土壌	0.22
	湿性未熟黒ボク土壌	
	湿性黒ボク土壌a, b	
褐色森林土	湿性累層黒ボク土壌	0.31
	淡色黒ボク土壌	
褐色森林土	全分類	0.28
ポドゾル	全分類	0.19
赤黄色土	赤色土壌	0.38
	暗赤色土壌	0.25
褐色低地土	全分類	0.52
灰色低地土	細粒灰色低地土壌	0.46
	灰色低地土壌	
	粗粒灰色低地土壌	
グライ土	灰色台地土壌	0.40
	細粒グライ土壌	
	グライ土壌	
泥炭土	粗粒グライ土壌	0.42
	グライ台地土壌	
泥炭土	全分類	0.33
岩石地	全分類	0.19
その他	砂礫地など	0.19

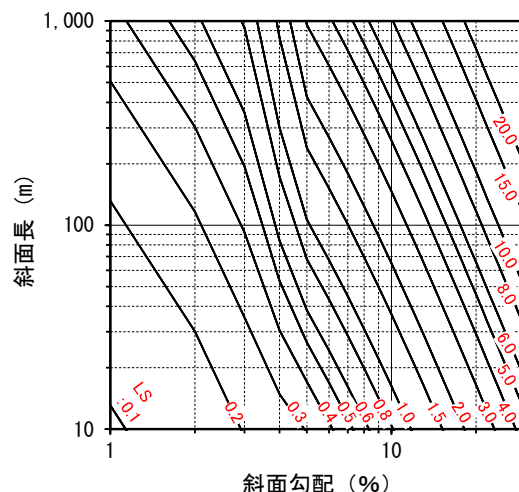


図-2 LS値ごとに整理した斜面勾配と斜面長の関係

22.1mで1.0、S値は勾配9% (約5.1度) で1.0になる。

$$L = (\lambda / 22.1)^m \quad (6)$$

$$S = (65.41 \sin 2\theta + 4.56 \sin \theta + 0.065) \quad (7)$$

ここに、 λ (m) は斜面長、 θ (度) は勾配、 m は勾配5%以上で0.5、勾配3.5-4.5%で0.4、勾配1-3%で0.3、勾配1%未満で0.2である。

図-2にLS値ごとに整理した斜面勾配と斜面長の関係を示す。例えば、斜面長200mで斜面勾配3%の場合、LSは約0.5となる。

(4) 作物係数 (C)

作物係数 (C) は、作物被覆と営農管理など圃場表面の状況が侵食に与える影響を示す係数で、裸地状態の圃場を1.0とした場合に対する流亡土量の比として表す。USLEの技術書²⁾では、生育期ごとのC値とR値から、その地域に対応する年間のC値を作物ごとに算出することとしているが、事業計画指針⁹⁾では各種作物の標準値が整理されているので、本稿ではこれを用いる (表-2)。

(5) 保全係数 (P)

保全係数 (P) は、横畝栽培や植生帯、テラス工など土壌保全対策の効果を示す係数で、平畝、上下耕 (保全対策無し) を1.0とした場合に対する流亡土量の比を表している。本稿では、事業計画指針⁹⁾に示されている畑面の勾配ごとに整理された横畝栽培を行った場合の値を用いることとした (表-3)。

4. 農地保全のための圃場整備と管理の検討

ここでは、傾斜畑の農地保全に求められる圃場整備と営農管理の検討方法を示す。図-3に、区画整理によって9筆の圃場を2筆に整備する計画とした架空の事例を示す。狭小で傾斜方向の複雑な圃場群を大区画で均一な勾配とすることで、作業性の向上が図られている。勾配は最も経済的 (土工量が少ない) になるよう設定されているものとする。圃場管理は、作業性の観点から長辺方向の畝立になることが多いので、斜面に対して縦畝での営農を想定している。その他の条件は図中に示した。

USLEの各係数は、降雨係数 (R) がA市の170、土壌係数 (K) が火山抛出品未熟土壌の0.34、地形係数 (LS) が2.7、作物係数 (C) がタマネギの0.5、保全係数 (P) が縦畝 (対策無し) の1.0と設定される。式 (1) より、年間の流亡土量は約 $78\text{tf}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ となり、許容流亡土量 ($10\text{tf}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$) を大幅に超過すると予測された。流亡土量を許容量に抑えるためには、地形係数 (LS)、作物係数 (C)、保全係数 (P) を下げる対策が求められるが、斜面方向に縦長形状の圃場であるため土壌保全対策である横畝栽培への変更 (Pを下げる) は現実的な対応とはいえない。また、作物係数の小さい畑作3品 (パレイショ、テンサイ、コムギ) の輪作に転換 ($C:0.5\rightarrow0.3$) したとしても年間の流亡土量は約 $47\text{tf}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ と許容流亡土量を超過する。そのため、流亡土量を低下させるためには圃場形状 (斜面長、斜面勾配) の計画修正により地形係数 (LS) を低下させる対策が必要となる。

上記圃場において、畑作3品に転換 ($C:0.5\rightarrow0.3$) したうえで、許容流亡土量以下にするためには、地形係数 (LS) を約0.58以下にする必要がある。ここで、図-4の $LS:0.58$ のラインをみると、営農の作業効率から斜面長

表-2 作物係数 (C)

作物	C	作物	C
牧草	0.02	トウモロコシ	
ブドウ (果樹)		ワタ	
ワラ、牧草マルチ	0.1	ダイコン	
エンバク		ホウレンソウ	
コムギ	0.2	テンサイ	
サトウキビ		ゴボウ	0.4
陸稲		ニンジン	
キャベツ		セロリ	
ブロッコリー		ナス	
ハクサイ		ピーマン	
レタス		ソラマメ	
カボチャ		ダイズ	
スイカ		パインアップル	
マクワウリ	0.3	ネギ	
パレイショ		タマネギ	
トウガラシ		ラッキョウ	0.5
トマト		エンドウ	
ピーナッツ		インゲン	
カンショ		アズキ	
防虫菊		ナガイモ	
ソバ		アスパラガス	0.6
ゴマ		タバコ	

表-3 保全係数 (P)

畑面の勾配	P
1~4° (約2~7%)	0.27
4~7° (約7~12%)	0.30
7~10° (約12~18%)	0.40
10~15° (約18~27%)	0.45
15~25° (約27~47%)	0.50

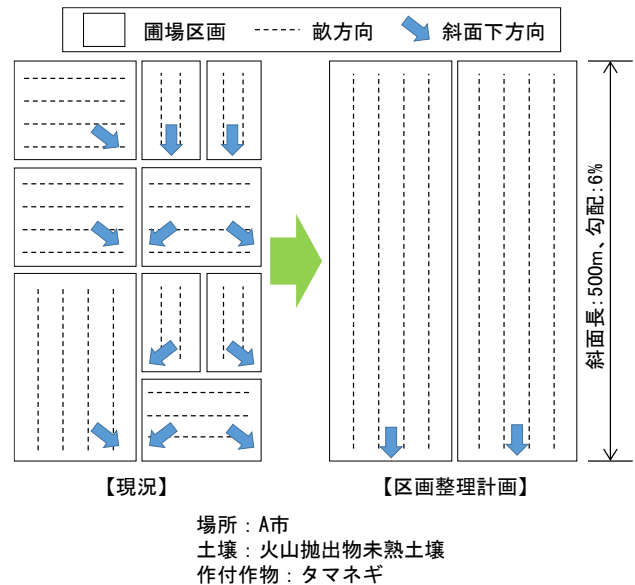


図-3 区画整理事例と解析条件

を500mのままとするなら、斜面勾配を2.6%に修正する必要があることが分かる (図中、青丸)。この場合、大規模な土工工事を伴うことになり、経済的負担が大きい。逆に、土工工事が無いように斜面勾配を6%で維持する

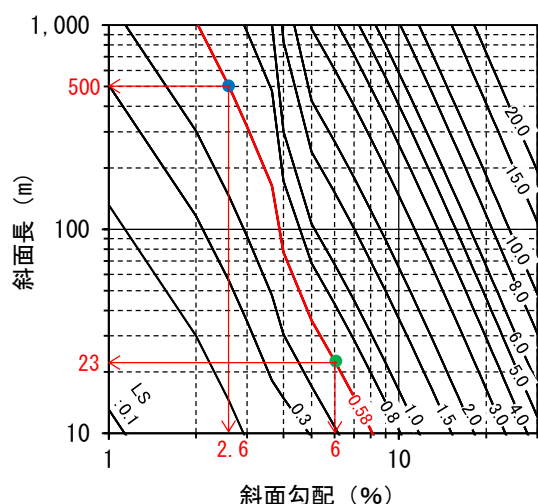


図4 LS値からみた斜面勾配と斜面長の検討

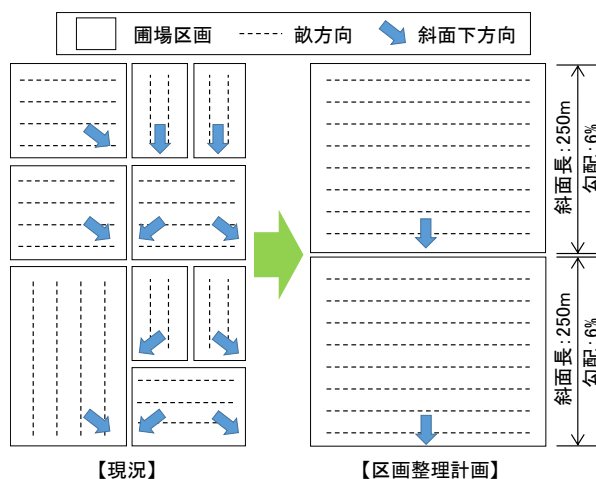


図5 横畝栽培を選択可能な区画整理イメージ

と(図中、緑丸)、斜面長を23m程度で分断しなければならぬので、営農の作業効率からみて現実的な対応ではない。実際の設計では、受益農家の意向を聞きながら、作業効率が大幅に下がらないような斜面長を確保し、また、経済性の観点から土工量が過剰にならないよう留意しつつ、LSが0.58以下になるように調整することになるであろう。例えば、斜面長を1/3の約165mにすれば、斜面勾配を約3.7%に修正することでLSは0.58となる。

ここまでは、斜面方向に沿って合筆することで斜面方向に長大な区画となった場合を想定した圃場整備と営農管理の方法を検討した。一方、区画整理の段階で斜面横方向に合筆できれば、斜面長を短くできるとともに、営農作業の効率を落とさずに横畝栽培を行うことができる

と考えられる(図-5)。この場合、図-3の区画整理と比べて、地形係数は(LS)は2.7→1.9、保全係数(P)は1.0→0.27となり、畑作3品の輪作に転換(C: 0.5→0.3)すれば、年間の流亡土量は $8.9\text{tf}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ となるので、斜面勾配を計画から修正することなく許容流亡土量以下に抑制することができる。このように、傾斜畑の大区画化に当たっては、横畝栽培が実施されやすいように斜面に対して横方向に広がった区画形状にすれば、保全係数(P)が小さくなることで、傾斜改良による大きな土工工事を伴うことなく、土壌侵食を許容流亡土量内に抑えることが可能になると考えられる。

5. まとめ

本稿では、区画整理により大区画化される傾斜畑を想定し、圃場整備後の土壌流亡量が許容流亡土量以下となるような圃場整備と営農管理の条件について、汎用土壌流亡量予測式USLEを用いた検討手法を示した。

傾斜畑において土壌侵食を抑制する基本的な考え方は、降水や表面水を一か所に集中させることなく浸透させるか圃場外に排除することである。そのための圃場条件として、斜面は長大にならないよう適切な間隔で分割して承水路等を整備すること、斜面勾配は緩く均一に整備することが求められる。また、営農管理による土壌侵食抑制には、横畝などの土壌保全的耕作の実施、受食性の低い作物への転換などが求められる。斜面長を長大化せず、かつ横畝栽培を積極的に導入するためには、斜面横方向への合筆が効果的と考えられる。

参考文献

- 1) 農林水産省：「土地改良事業計画指針 農地開発(改良山成畑工)平成4年5月」、農業土木学会、pp.158-178、1992。
- 2) Wischmeier, W. H. and D. D. Smith: Predicting Rainfall Erosion Losses, Agriculture Handbook, 537, USDA, pp.5-56, 1978.
- 3) 鶴木啓二：傾斜畑の農地保全に求められる圃場整備と管理条件、寒地土木研究所月報、864、pp.51-55、2024。
- 4) 谷山一郎：農耕地からの表面流去水の発生に関わる土壌要因の解明とMIの策定、農林水産業及び農林水産物貿易と資源・環境に関する総合研究、農林水産技術会議、pp.149-152、2003。
- 5) 鶴木啓二、田中健二、松岡直基：北海道の農地におけるUSLEを用いた土壌流亡量評価と将来予測、農業農村工学会論文集、318、pp.I.119-I.131、2024。