

# 傾斜農地の侵食に関する研究(I)

今尾 昭夫\*

Akio IMAO

Studies on soil erosion of sloped farmland (I)

## まえがき

中国、四国地方における農地は、その70%が傾斜地であって、その多くは侵食され易い花コウ岩の風化土壌より成っている。そのため農耕土壌の侵食がはげしく、土地生産力も減少する傾向にある。加えて最近の平野部における農地の住宅、工業用地化の進展は、農業生産の場を山間部に移行させる結果となり、傾斜地を利用した農地開発、整備が、これからの農業にとって必須の条件となっている<sup>1)</sup>。しかし、傾斜農地にとって大きな問題は、降雨による農地の侵食に対する制御であり、我が国において、それに対処すべき方策はいまだ確立されていない。

傾斜農地の侵食に対する研究は、主に米国において多くなされており、その成果もみるべきものがあるが、対象となる農地の地形、面積および気象条件等において相当な差があり、基礎的研究を除いては、その成果を利用することが困難である。

本研究は、我が国の傾斜農地、とくに山間部に開発される農地造成方式の形態を考慮して、降雨による圃場面と法面の侵食現象を、室内人工降雨装置を利用して実験的に追求し、傾斜農地の計画、設計における侵食に対処すべき方法を見出そうとするものである。

## 1. 実験装置

実験装置は、全体を仮設した上屋（奥行 5m、幅 4.1m、高さ 5.1m、鉄骨組立式トタン張り）内に設置し、図-1.1に示すような方式を採用した。

### 1.1 人工降雨発生装置

室内人工降雨発生装置は、市販のものを含めて種々の方式があるが、ここでは図-1.2に示されるような、圧力水を霧状に散布する動力噴霧器のノズル付パイプを利用し、

散布された霧状の水を三重の網スクリーンで受け、水滴を発生させて雨滴に近い大きさで落下させる方式を採用した。まず、動力噴霧器用のポンプ（有光US-33型、モータ 1.5kw）の圧力水を調圧タンク（直径 12cm、長さ 100cm、円筒状）へ導き、ノズルが6ヶ（33cm 間隔、ノズル口径 0.7mm）ついた散布用パイプを3本並列にゴムパイプで接続し、上屋の上部にとりつけた。また網スクリーンは、上から網目の大きさ 0.15, 0.41, 0.90cm の網を三重に 10, 21cm 間隔で重ねた木枠で構成し、枠自体は上下に調節できるようにした。

### 1.2 可傾式土槽

図-1.3に示すように、0°~60°まで自由に傾斜させる得る台車上に、試料を充填する土槽（長さ 150cm、幅 80cm、深さ 20cm）を設置した。土槽の上流側には薄

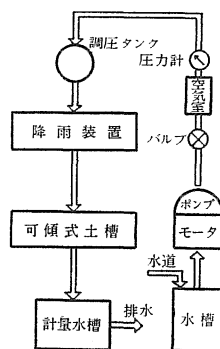


図-1.1 実験方式

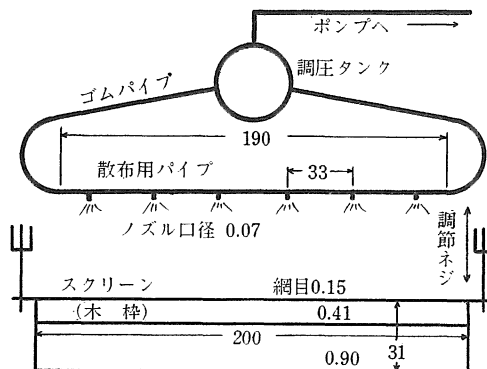


図-1.2 降雨装置 (単位 cm)

\* 農地工学

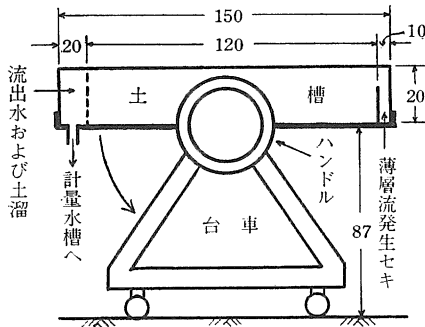


図-1.3 可傾式土槽 (単位 cm)

層流を発生させるセキと、導水用の有孔パイプ、下流側には土砂溜りと流出する水および土を計量水槽に導くパイプ (直径 5cm) の取付口を設けた。

### 1.3 計量水槽、断面測定器および水源

60°三角ゼキ、および沈砂池を設けた鉄製の計量水槽 (長さ 110cm, 幅 40cm, 高さ 50cm) を床面下に設置し、流出水の測定と、土槽の土砂溜りより流出した土を沈砂させた。また、侵食面の土の流亡による凹凸を測定するため、1cm 間隔でスポークを L 型の板に並べて取りつけた断面測定器を試作した。なおこのスポークは所定の位置に停止させることが可能で、先端を凹凸面に応じて上下させ、基準線からの長さを測定できる。水源は、容積 0.6m<sup>3</sup> の鉄製円筒形水槽を屋外へ設け、水道で必要量を補給することにした。

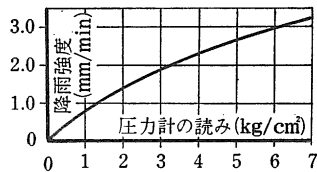


図-2.1 降雨曲線

## 2. 基礎実験

前述の実験装置および実験に用いた試料土について基礎実験を行ない、それぞれの性能および性質について、検討を加えた。

### 2.1 降雨強度の検定

人工降雨実験に際し、降雨強度の検定が必要である。降雨強度の検定は、水平にした台車上有底カン (直径 10cm, 高さ 8cm) を 20cm 間隔で32ヶを格子状にならべて行なった。降雨強度の調節はポンプの吐出口に取り付けたバルブの開閉による圧力変化で行ない、圧力はバルブに接続させた円筒形空気室 (直径 19cm, 高さ 29cm, 鉄製) に最大 10kg/cm<sup>3</sup> を測定できる圧力計を取りつけて読みとった。降雨強度は、圧力計の読みを 1~7kg/cm<sup>3</sup> まで10種の圧力変化を与え、それぞれの圧力について雨量を5分間受カンし、次式によって1分間降雨強度 mm/min を求めた。

$$I = \frac{Q}{5 \times A} \times 10 \quad (\text{mm/min})$$

ここで、 $I$ ; 1分間の降雨強度、 $Q$ ; カン内に貯溜 (5分間) した雨量 (cm<sup>3</sup>)、 $A$ ; カンの底面積 (cm<sup>2</sup>) である。

また、降雨分布の均等性を知るため、次式によって均等係数を求めた。

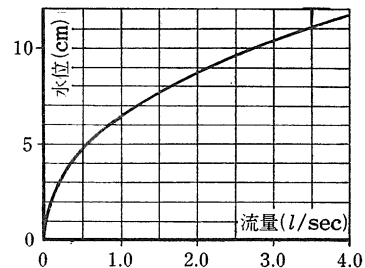


図-2.2 三角ゼキの水位—流量曲線

表-2.1 試料土の理工学性質

試料	比重	突固め試験		粒度試験 %				液性限界 %	収縮限界 %	* 侵食率	分散率 %
		$w_p$ %	$\gamma_d$ kg/cm <sup>3</sup>	粘土	シルト	砂	レキ				
粘質マサ土	2.740	12.2	1.93	7.0	23.0	60.0	10.0	37.64	28.7	285.0	50
砂質マサ土	2.658	19.2	1.69	2.0	7.0	56.0	35.0	28.94	28.6	154.0	55

\* Middleton の侵食率

$$Cu = 100 \left( 1 - \frac{\sum |x|}{m \times n} \right)$$

ここで、 $Cu$ ；均等係数（%）， $x$ ；個々の観測値と  $m$  との偏差， $m$ ；観測値の平均， $n$ ；観測個数である。均等係数は60～73%の範囲にあり，多少その均等性に欠くと考えられるが，侵食状況の検討の際，十分これを考慮することにした。

雨滴の大きさは，口紙法によって測定を行なったが，同一圧力下においても直径 1mm～6mm まで相当のちらばりを見せ，ポンプ圧力が大きくなるに従い，雨滴径はやや大きくなる傾向を示す。この雨滴径の差が有意なものであるかどうかを確認するため分散分析を試み， $F=1.34$  が得られた。この値は5%の危険率のときの基準値である  $F(4.63; 5\%) = 2.75$  より小さい。従って5%の危険率で判断した場合，ポンプ圧力の差により雨滴の大きさに差があるとは言えず，質的には同一の雨滴と考えてよいと思われる。

これらの検討によって，圧力計の読みと降雨強度の関係を図示すると，図-2.1のようになる。

### 2.2 計量水槽の検定

計量水槽の三角セキの検定は，水理実験室のセキ（検定済み）を利用して行ない，図-2.2に示されるような水位—流量曲線が得られた。

### 2.3 試料土

この侵食実験に使用した土は，島根県仁多郡横田町で採取した粘質マサ土，および砂質マサ土の2種である。これらの土の工学的性質を表-2.1に示す。

## 3. 実験方法

本実験の目的は，土の斜面に人工降雨を与えて，降雨と傾斜度による土壌侵食の挙動を実験的に確かめようとするもので，以下の方法によって実施した。

### 3.1 降雨強度および時間

実験に用いた降雨強度は，降雨装置の性能，および侵食現象を明確にするため，強雨の範囲に入る強度 1, 2, 3 mm/min の3種とし，1回の実験について降雨時間を6時間とした。

### 3.2 試料土の充填

ほぼ同一の含水比とした土を土槽内に入れ，土羽打ちの要領で三層に分けて一定回数突き固め，厚さ 16cm の

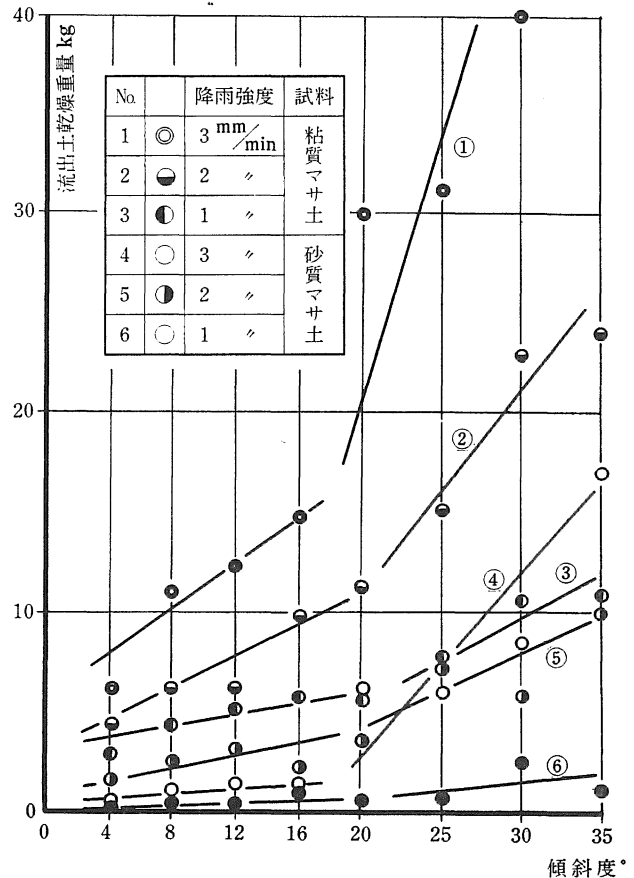


図-4.1 傾斜度と流出土量の関係

土層に整形した。整形後，試料抜き取り器で 100cm<sup>3</sup>の試料を採取し，それぞれの場合について仮比重，含水比，および間ゲキ率を求めたが，ほぼ同一の条件下で突き固め，整形されていることを確認した。また，降雨装置がその中央部で比較的均等な降雨分布を示すことから土層の両側を 15cm せばめて土を充填した。

### 3.3 土槽の傾斜度

土槽の傾斜度は 4, 8, 12, 16, 20, 25, 30, 35° の 8 種に設定し，圃場こう配から法面こう配までを想定した。

### 3.4 侵食断面の測定

侵食による土壌表面の凹凸を横断方向 1cm，縦断方向 20cm 間隔で 6 断面を断面測定器で測定し，台形公式およびプリズモイド式によって，侵食された容積を計算した。断面の測定は，降雨開始後 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 時間経過毎に行ない，降雨時間の経過にともなう侵食容積の変化を求めた。

### 3.5 流出水量と流出土量

流出水量は、断面測定時間毎に計量水槽の三角ゼキで測定し、流出土量は、6時間経過後に沈砂池、土砂溜内の土を集め、乾燥状態における重量を求め、さらに粒度試験を行なった。

#### 4. 実験結果とその考察

傾斜農地の降雨による土壌侵食は、土壌の含水比、土壌粒子の構成、降雨強度と量、傾斜度、長さ、植生および土地利用状況等の要因に影響される。本実験においては、これらの要因のうち、土壌の初期条件は土の土槽へ充填する際、ほぼ同じ状態で突き固められており、長さ一定、植生なしの状態であるから、侵食に関する要因は土壌粒子の構成、降雨強度と量、および傾斜度である。従って以下これらの要因について、実験結果を検討し、考察を加えてみる。

##### 4.1 傾斜度と流出土量（侵食土量）

試料土を充填後、傾斜度を設定し、6時間後に流出する土の量（侵食量）と傾斜度について、3種の降雨強度をパラメータとして示すと図-4.1のようになる。なおこの場合の土量は、傾斜による降雨面積の減少を考慮し、総雨量が同一となるよう換算した値である。

この図-4.1から、降雨強度、試料、および傾斜度の

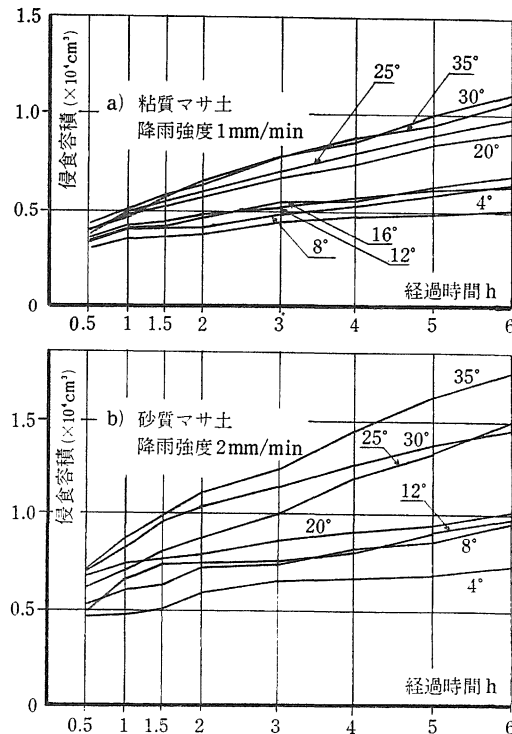


図-4.2 侵食容積の時間的变化

差によって侵食量に相当な違いがあることは明らかである。そして傾斜度の増大とともに侵食量は増加しているが、やはり降雨強度、および試料によってそれぞれ異なる傾向を示す。降雨強度が小さい場合、侵食量の増加は

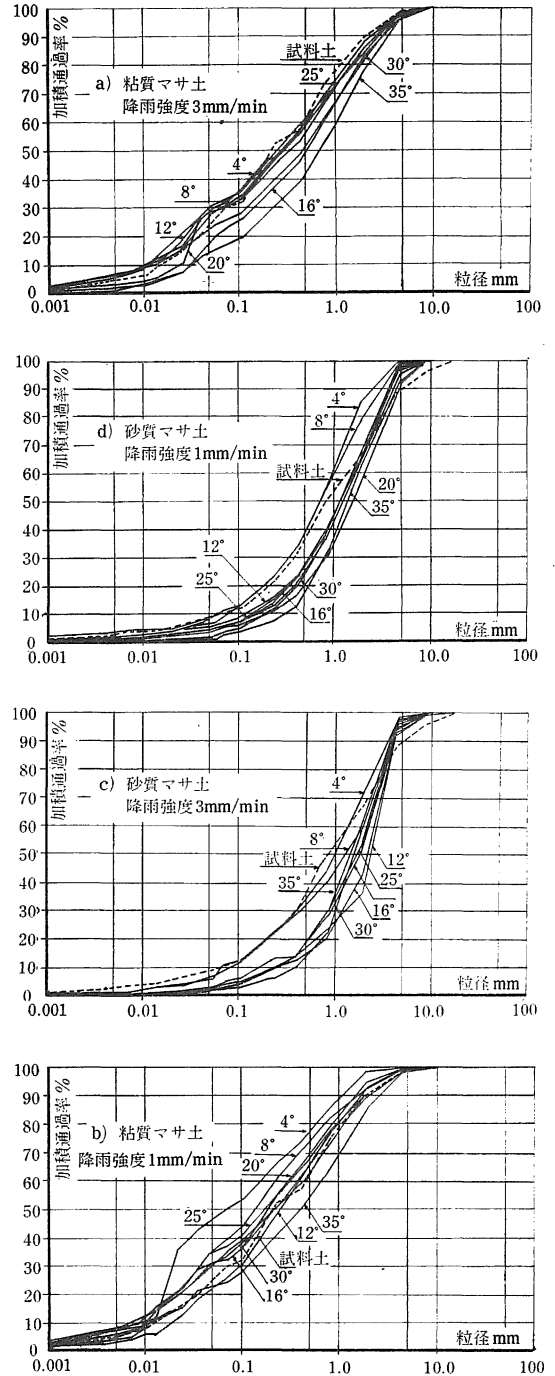


図-4.3 流出土の粒度試験

傾斜度の増大とともにほぼ直線的に徐々に増加するのに対し、降雨強度が大きくなると、ともに16~20°の傾斜度を境として急激に侵食量が増加する傾向を示す。また砂質マサ土においては、傾斜度が16°付近までは侵食量の差があまりないのに対し、粘質マサ土においてはその差が著しい。そして、降雨強度が同一であっても、粘質マサ土の侵食量が多い傾向を示しており、粘質マサ土の受食性が高いことを示している。これは、試料土の粒径の差による透水性、および微粒子による土壌表面のパッキング作用に大きく影響され、侵食機構がその初期において異なっているものと考えられる。

傾斜度16~20°において、侵食量に急激な差があらわれることは、ある傾斜度を境界として急に侵食が進むことをあらわし、侵食現象の急変する一つの限界と考えてよいと思われる。これはまた、試料土を採取した地域において、侵食災害を大きく受けている限界の傾斜度として認められている値であり、これが実験的にも妥当であることを確かめることができたと考えられる。従って、この地域においては、少なくとも農地の傾斜度を10°以上にすべきではないと考えられ、同時に、いわゆるマサ土を主な土壌とする地域の農地開発について、造成こう配決定の際、考慮すべき傾斜度である。

#### 4.2 侵食容積の時間的変化

図-4.2は、降雨時間中における侵食容積と経過時間の関係について、傾斜度をパラメータとして示した代表例である。

この図から、侵食容積は時間の経過とともにほぼ直線的に増加し、傾斜度、降雨強度が大きくなるに従ってその増加量も増大している。しかし、その傾向も、傾斜度が20°を境として大きく変化している。すなわち、16~20°より大きい傾斜度では、2~3時間後から増加量が急に大きくなる傾向を示している。従って、侵食の時間的変化も、この試料では20°付近が一つの限界を示しており、前節の考察が、経過時間においてもあらわれていると考えられる。

#### 4.3 流出土の粒度組成

土の受食性を判定する一つの方法として Middleton<sup>3)</sup>の侵食率がある。これは単に一つの目安を示すに過ぎないが、実験に使用した土について、この侵食率、分散率を求めてみると表-1.1のようになる。<sup>4)</sup>侵食率については日本の土にあてはめて値を求めた山崎による値もあるが、これらの侵食率を参考にしても、この試料土はともに侵食され易い受食性の土の範囲となり、この値の大小は侵食量の大小に対応していることがわかる。また、侵食実験中の侵食面を観察すると、侵食の初期において

は、侵食面に粒径の大きな粒子が残る割合が大で、この時点では、細い粒子が流出する選択的侵食の状況がみられた。そして結果的には、表-1.1の(レキ+砂)、(シルト+粘土)の割合と侵食状況をみると、(レキ+砂)を多く含む砂質マサ土の方が、(シルト+粘土)を多く含む粘質マサ土より侵食量が少ないことがわかる。従って、マサ土においては、細い粒子を多く含む土の方が受食性が高いと考えられる。これは降雨の水滴による飛散、および微細土の土表面のパッキング現象より生ずる透水性の抑制、流出の増大等が影響すると考えられるが、なお検討を要することである。

実験開始後、6時間経過した流出土の粒度試験を行った結果を、降雨強度1, 3 mm/minについて図示すると、図-4.3のようである。なお図中には、実験前の試料土(原土)の粒度試験結果を併示している。

粘質マサ土においては、傾斜度の小さいときは、原土にくらべて細粒部分の割合が大きく、降雨強度の小さいときに著しい。しかし、傾斜度が大きくなるとこの傾向は認められず、流出土の粒度組成は原土に近くなり、全体的に流亡するようである。従って、とくに降雨強度の小さいときは選択的侵食が卓越しているようである。

また、砂質マサ土の場合は、含有率に差はあっても、降雨強度に関係なく、原土と同じような粒度組成を示し、粘質マサ土のような傾向は認められない。しかし、粒度組成において、傾斜度4~8°の群と、12°以上の群に分別される傾向を示している。

これらから、流出土の粒度組成に与える影響として、粘質マサ土の場合は、傾斜度の小さいとき降雨強度が、砂質マサ土の場合は、傾斜度が卓越し、降雨強度、傾斜度が大きくなると、ともに原土にほぼ近い粒度組成をもって流出すると考えられる。従って、圃場面の侵食は、選択的侵食を示し、法面の侵食は非選択的侵食を示すと考えられ、ここに耕土(圃場面)の性質と土壌侵食が土地生産力の面においてかかわりをもつことになると考えられる。

## 5. ま と め

降雨による傾斜農地の侵食は、それに関連する要因が多く、それらのすべてに関連した形で侵食現象を表現することは困難である。本研究では、多くの要因のうち、降雨強度、傾斜度をとりあげ、マサ土における侵食の挙動を実験的に検証した。これは基礎的な研究であって、すべての農地に適用できる普遍的なものではないが、少なくとも、マサ土を主な農耕土壌とする地域に対しては農地造成および整備の計画、設計について考慮すべき重

要な問題点を提起し、これに若干の指針を与えたもの  
を考える。とくに、侵食の挙動が急変する傾斜度の限界を  
指摘したことは、マサ土地帯の農地開発にとって、造成  
こう配決定に重要な示唆を与えるもので、今後の計画、  
設計の根拠になりうるものであろう。しかし、侵食現象  
については、まだ多くの問題が残されており、さらに研  
究を進展させることが必要である。

なお本研究は、文部省科学研究費の補助をうけたこと  
を付記して謝意を表す。

#### 参 考 文 献

- 1) 今尾昭夫：農村開発, No.6, 1974, 127-135.
- 2) 今尾昭夫：農土学会中国四国支部講演要旨集,  
1977, 73-74.
- 3) 山崎不二夫：農地工学(下), 東大出版, 東京,  
1972, 475-476.
- 4) 同 上

#### Summary

In the present paper, among factors relevant to the water erosion of soil, the relation between the rainfall intensity and slope sharpe in decomposed granite soil was elucidated using a laboratory rainfall simulator and inclined soil tank. The main points of result obtained are as follows :

(1) A critical slope sharpe in which the volume of erosion increased in quick order was about 28-36 per cent. (2) The volume of erosion increased linearly with the time elapsed. (3) The erosion was a selective type for partical size of soil in case of gentle slope sharpe. This result will be of use to the planning for land reclamation or soil and water conservations.