農地保全の研究 第 3 号

目　　次

あ　い　さ　つ…… 1

農地保全研究部会長　　藤　田　則　之

1.　裸地斜面におけるガリ網の形成と発達…… 3

北里大学獣医畜産学部　　高　木　　東

2.　改良山成工災害の問題点について …… 15

愛媛大学農学部　　中　村　忠　春

3.　土壌侵食研究の背景と現況 …… 28

山口大学工学部　　藤　原　輝　男

4.　斜面ライシメータによる流出と土壌侵食の観測と解析 …… 40

農業土木試験場水利部　　渋　谷　勤治郎

5.　阿武隈八溝山系における草地開発地区の防災工の実施例について…… 59

農用地開発公団　多賀事業所　　宮　木　省　三

6.　益田開拓の事業概要と防災対策……79

益田開拓建設事業所　　大　串　和　紀

あ　い　さ　つ

農業土木学会　農地保全研究部会長

藤　田　則　之

種田前部会長の御尽力で発会し、会員各位の御協力で着々その成果をあげつつある、農地保全研究部会の御世話を、本年度よりは山口大学で引き受けることとなり、第3回の研究集会を山口市で開催することとなりました。

研究集会のテーマは、第1回は「農地保全と水食」、第2回は「農地保全の諸問題」でありましたが、今回は現場や行政機関等で実務を担当する技術者と、試験研究機関や学校等で基礎的研究にたづさわる研究者の相互協力で、農地保全に関する一層活発な研究活動が展開し、それらの研究成果が、各種の事業実施や農地の生産力の維持保全に対して、大いに貢献することを願って、そのテーマを「農地保全、その対策と研究」といたしました。

これまでの各集会では、幸い、多くの現場技術者の方方が参画され、また熱心に討議に参加、研究者との積極的な情報交換が行われて参りました、今回は、これらの方方の強い御要請に応えるべく、国営農地造成事業、益田地区の現地見学を企画し、また、研究発表についても、水食に関する基礎的研究と共に、造成農地の防災対策を基調として、具体的な造成工法に関する研究成果や、現

地における実施事例をふまえての防災工法に関する提案等を御発表願うこととといたしました。講師各位の貴重な研究発表に大きい期待をするものでありますが、さらにこれらに関連して総合討論や、益田地区における現場討議や、種々の意見交換が活発に行われ、本研究集会の成果が、参加者各位の今後の研究活動の進展に、ひいては各地における農地保全関係事業の円滑な推進に反映することを願ってやまぬものであります。

裸地斜面におけるガリ網の形成と発達

北里大学獣医畜産学部　高木　東

1　はじめに

実際の斜面では、層状侵食よりもガリ(雨裂)侵食の方が一般的であると言われている。斜面に発生したガリを放置すれば、斜面にはやがて大きなガリ網(雨裂網)が形成されて，益々，斜面の侵食が進行するであろう。このガリ網，即ち斜面上に刻まれたガリの合流などによって形成されたガリのネットワークの形態，及びその発達に関する知見は、斜面からの流土土砂量の算定や斜面の変貌を予測するうえでの基礎として不可欠なものである。ところで、ガリ網の形成や発達についての実態把握やそれに関する理論的研究は数少ない。特に、現実の時間的、空間的スケールでのガリ網の形成・発達の実態把握やそれに基づく理論的研究は非常に少ないと言える。ここでは、第2章において，実際の典型的な侵食斜面での現地追跡調査によって得られた知見を述べ、更に，第3章において、それらの知見に基づいて構成したガリ網の形成・発達に関する確率的モデルによるシミュレーション結果からの知見について述べる。

2　ガリ網の実態

1) 現地の斜面条件；本章で述べるガリ網は、青森県浪岡町第2五本松地区内の昭和46年に造成された裸地斜面に自然現象として形成

されたものである。この斜面は，Table 1 に示す様に，かなりの深さまで砂質土のしかも急勾配の，侵食が著しく進みやすい斜面である。現地近傍における降水条件については，昭和47年から51年までの各年の融雪期における積雪深変化をFig.1に，昭和52年と53年のものをFig.2に示し，昭和47年から51年までの各年の5月～10月の季節で発生した全ての降雨についての全雨量と最大降雨強度をFig.3に，昭和52年と53年のものをFig.4に示してある。なお，本調査地区での昭和47年から51年における降水と侵食発生調査から，融雪によるガリ侵食発生限界値は，最大融雪速度が100mm/day，又，降雨によるそれは，最大降雨強度が12mm/hr.でかつ全雨量が26mmと結論した。

Table 1 ガリー網調査斜面の土壌物理性 1)

物理性 / 深さ(m)	土性名	自然含水比 容率(%)	真比重	仮比重	間ゲキ率 (%)	飽和透水係数 (cm/sec)	硬度 (kg/cm²)	コロイド含量 (%)	pF2.0 水分 (%)	水分当量 (%)	分散率 (%)	侵食率 (%)
0	砂土	25.0	2.69	1.38	49.6	1.8×10^{-3}	5.7	2.0	25.8	14.7	33.3	245
0.5	〃	26.9	2.74	1.37	50.3	4.2×10^{-3}	1.9	2.0	24.5	14.5	44.5	322
1.0	〃	31.0	2.73	1.22	55.4	1.4×10^{-3}	1.3	2.1	26.7	16.0	56.4	431
2.0	砂質ローム	35.6	2.73	1.25	54.9	2.8×10^{-4}	1.3	3.1	30.8	20.9	50.8	343
3.0	〃	38.8	2.72	1.37	47.7	7.0×10^{-5}	1.5	2.1	36.7	19.7	52.5	491
4.0	〃	33.0	2.74	1.32	51.9	3.1×10^{-4}	1.4	3.0	30.4	18.4	38.2	234
5.0	〃	48.1	2.69	1.28	51.9	5.1×10^{-6}	5.2	2.2	47.6	33.3	42.6	636

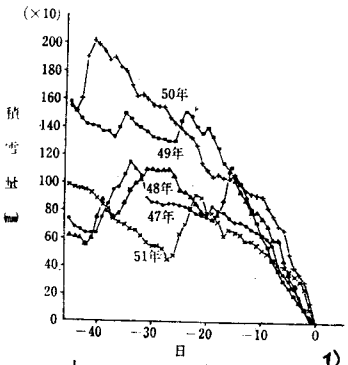


Fig. 1 融雪期の積雪深変化（於青森空港） 1)

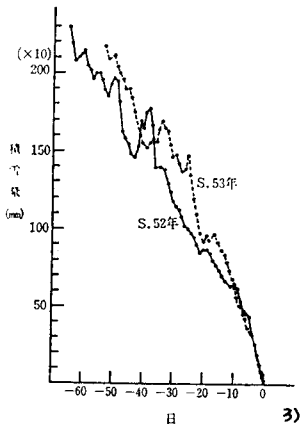


Fig. 2 融雪期の積雪深変化（於 青森空港） 3)

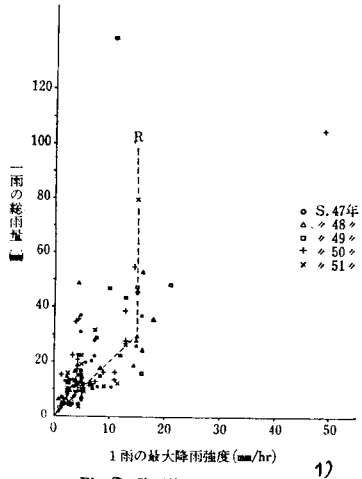


Fig.3 降雨特性（於浪岡高校）

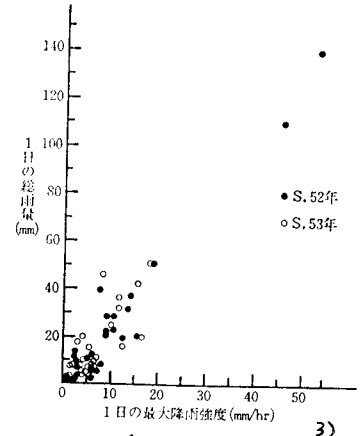


Fig.4 降雨特性（於 青森空港）

2) がり網とその規則性；がり網の形態を知る為に，昭和48年時に航空写真，そして51年及び53年時には、当斜面上で実地測量及びスケッチ等の追跡調査を行なった。その結果をFig.5と6に示す。Fig.5には，昭和48年時のがり網．Fig.6には51年及び53年時のがり網が描かれてある。53年時のがり網は、実線のみで描かれた51年時のがり網に，破線で示したがり（昭和51年以後に合流したもの）を構成要素として加えたものである。尚，Fig.6における○印は、51年から53年の間に発生した微争奪現象の発生箇所を示す。これらの図に見る様に，各々の時点に於けるがり網は、何れも3以上のがりが合流する事が無く、又，分流する事の無いほど理想的な樹枝状を呈している。

さて、これらのがり網に対し、河川の水系網に於けるStrahlerの次数化法を用いて、がり網の構成要素である個々の諸がりに対して次数化（rankづけ）を行い，(i) ω次数のがり本数N_ω及び(ii) ω次数のがり平均長$\bar{L}_{\omega(m)}$と次数ωの関係をみると，Fig.7及び8に示す通りである。Fig.7に見る様に，がり本数N_ωと次数ωの関係では、早期の昭和

48年時から既に強い規則性が出ている。次いで、ガリ平均長$\overline{L_\omega}$と次数ωの関係をみると、48年時の水系(I)のガリ網を除いて、何れの時点のガリ網でも強い規則性が出ている。それらの関係に於ける相関係数は、何れも0.900以上である。又、それらの回帰線の方程式は、次式(1)及び(2)とTable 2に示す。

$$\log N_\omega = a - b\omega \quad \text{------(1)}$$

$$\log \overline{L_\omega} = a' + b'\omega \quad \text{-----(2)}$$

Table 2 回帰直線の方程式(1),(2)における係数 [3]

係数 ＼ 時	S.48	S.51	S.53
$(N_\omega)_a$	1.93 (水系Ⅰ) 2.16 (水系Ⅱ)	2.29 (水系Ⅰ) 2.62 (水系Ⅱ)	2.41 (水系Ⅰ) 2.72 (水系Ⅱ)
$(N_\omega)_b$	0.503 (水系Ⅱ) 0.551 (水系Ⅱ)	0.475 (水系Ⅰ) 0.533 (水系Ⅱ)	0.501 (水系Ⅰ) 0.553 (水系Ⅱ)
$(L_\omega)_{a'}$	0.957 (水系Ⅰ) 0.757 (水系Ⅱ)	0.588 (水系Ⅰ) 0.323 (水系Ⅱ)	0.558 (水系Ⅰ) 0.296 (水系Ⅱ)
$(L_\omega)_{b'}$	0.135 (水系Ⅰ) 0.231 (水系Ⅱ)	0.190 (水系Ⅰ) 0.253 (水系Ⅱ)	0.200 (水系Ⅰ) 0.262 (水系Ⅱ)

尚、ガリ網を構成する個々のガリの規模を示す一つの量として、ω次のガリ平均断面積$\overline{A_\omega}$(m²)($\overline{A_\omega}=TV_\omega/TL_\omega$；$TV_\omega$はω次ガリの総容積(m³)，$TL_\omega$はω次ガリの総長(m²))を考え、ω次数との関係をみるとFig.9の様になり、矢張り強い規則性が出ている。

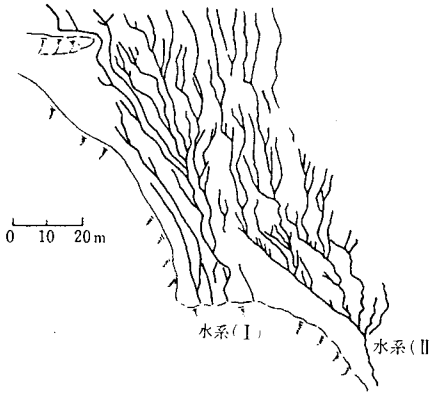


Fig.5 昭和48年時のガリ網 [2]
(裸地化2年後)

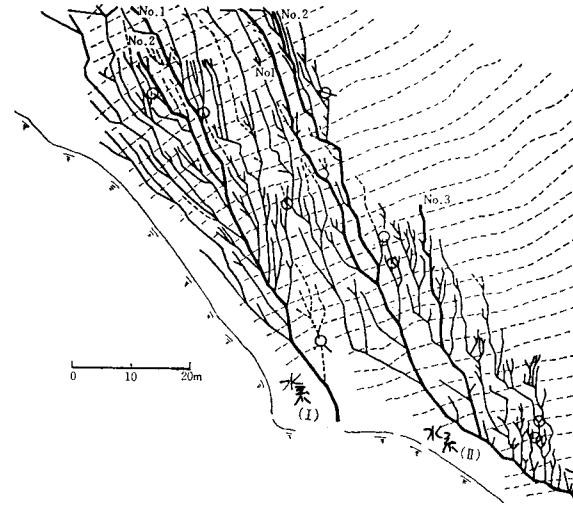


Fig.6 昭和51年及び53時のガリ網 [3]
(裸地化5年，7年後)

3) がり網の発達；がり網の発達の仕方は，激しい地面流が発生するたびに，既存のがり網に，新規に発生したがりあるいは既に存在していたが合流出来ずに途中で消滅してたがりが合流し，又，がりどうしが非常に接近した所では微争奪が生起して，がり網は斜面上に益々精緻なものとなってゆく。又，斜面上に一度形成されがり網の構成要素となったがりに消滅がみられず，斜面上の位置関係の変動が大まかにみて見られないので，微争奪の現象が生じなければ，一度形成されたがり網の斜面上での幾何学的構成は，経時的にほぼ不変というものである。この様にしてがり網は発達をみるが，新規のがりの発生及びがり網の構成要素の規模拡大（拡巾）により，がり間の地表面は益々領域がせばまるので，同じ強度の豪雨に対しては益々新規がりの発生は減少するだろう。

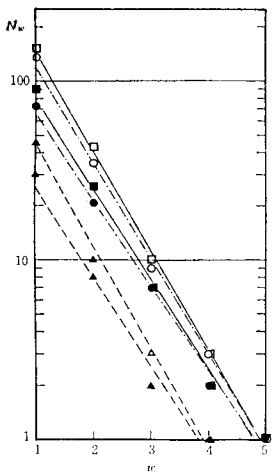


Fig. 7 ガリ本数 N_ω と Strahler 次数 ω の関係 3)

（▲，△はそれぞれ昭和48年時の水系（Ⅰ）および（Ⅱ），●，○，は51年時の水系（Ⅰ）および（Ⅱ），■，□は53年時の水系（Ⅰ）および（Ⅱ）の点を表わす）

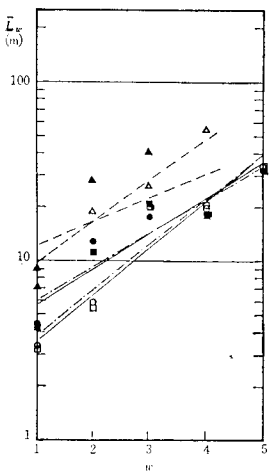


Fig. 8 ガリ平均長 $\bar{L}_\omega$ と Strahler 次数 ω の関係 3)

（▲，△はそれぞれ昭和48年時の水系（Ⅰ）および（Ⅱ），●，○，は51年時の水系（Ⅰ）および（Ⅱ），■，□は53年時の水系（Ⅰ）および（Ⅱ）の点を表わす）

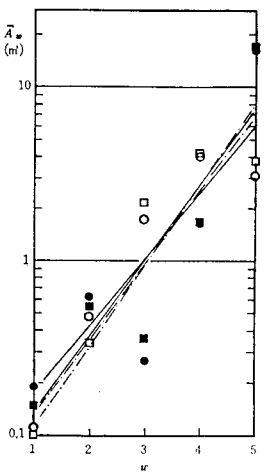


Fig. 9 ガリ平均断面積 $\bar{A}_\omega$ と Strahler 次数 ω の関係 3)

（●，○はそれぞれ昭和51年時の水系（Ⅰ）および（Ⅱ），■，□は53年時の水系（Ⅰ）および（Ⅱ）の点を表わす）

がり網の発達を $N_\omega \sim \omega$ 及び $L_\omega \sim \omega$ の回帰線の動きで把えると，Fig. 7にみる様に，$N_\omega \sim \omega$ の回帰直線は，水系(I)，(II)共に48年時の破線の位置から上方に移動して51年時の一点鎖線の位置に至り，更に2年を経て僅かながらその傾きを増している。次にFig.8にみる様に，$L_\omega \sim \omega$ の回帰直線は，水系(I)，(II)共に，48年時の破線の位置から下方に移動して51年時の一点鎖線の位置に至り，更に2年を経て若干その傾きを増している。これからして，がり網はほぼ完成したと言えよう。

3 がり網の形成と発達に関する確率的シミュレーション

斜面に形成・発達するがり網について，確率的シミュレーションを行い，斜面上のがり数（がり網の規模），斜面地形（凹地形），人為的溝，がり畑などの影響を調べ，更にがり網のパターンに於ける幾何学的統計則を立証すると共にその動態的把握を行った。

1) シミュレーションの方法；① モデルの構成　2章で述べたがり網の形成発達に関する知見に基づき，次の様な確率的シミュレーションモデルを構成した。ⓐ がりは，斜面全面に分布する凹状の穴（以後谷頭と呼ぶ）より発っし，斜面の下流に向って形成されている。ⓑ がりの経路は，斜面の等高線を直角に切る方向に向って random に方向を変動している。この方向の変動は，斜面に分布する微小な局所的な凹凸によるものと考える。この微小な凹凸は，一般に複雑かつ不規なもので，がりの経路方向を確率的に与えるものとしている。その他，この変動は斜面の傾きの大きさにも左右されるものと考える。

ⓒこのがり経路の方向変動により，2本のがりが合する様ながりどうしの合流が生ずる。この合流ががり形成過程の各時刻，各場所で生ずるので，その結果，がりは木型のネットワークを形成する。斜面下流方向に向っての分岐は生じないものとする。ⓓ一度形成されたがりは，その経路が変動する事や消滅する事が無い。ⓔがり網の発達と共に各がりの規模(深さ・幅)の拡大が進み，それによりがりどうしが接近したとき，一方のがりの規模が比較的小さな場合は，その場で微争奪による合流が生ずるものとする。

②計算手順；上述の様なモデルに従って，がり経路を次の様な手順で描く。現地斜面の水系(I)，(II)の集水域の平均的広さをとり形を若干修正した長方形領域(30m×90m)に一様乱数によって谷頭を配布し，個々の谷頭より下流に向けてがり経路を伸長させる。がり経路の伸長は，Fig.10に示す様にy軸方向2m毎(幾つかの試行により2mごととする)にその方向θを逐次決めながら行なった。経路方向θは式(3)で示す様な正規乱数で与えた。

$$f(\theta)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}exp\left\{-\frac{(\theta-\alpha)^2}{2\sigma^2}\right\} \text{------}(3)$$

ここで，平均値αは，斜面の地形(平坦，凹地形，凸地形)を表わすパラメータと考えられる。標準偏差σは，斜面の微地形つまり粗さ及び傾斜などの函数と考えられる。後述する一連のシミュ

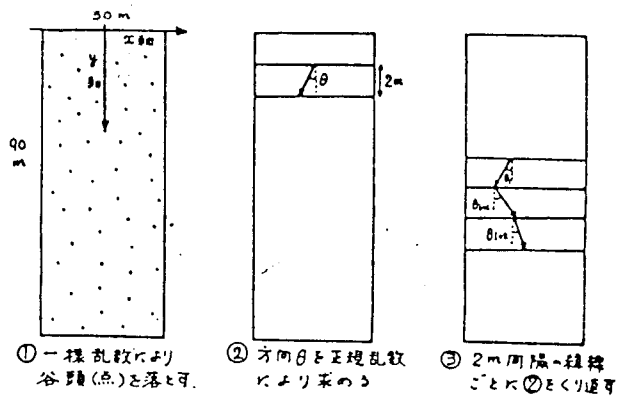
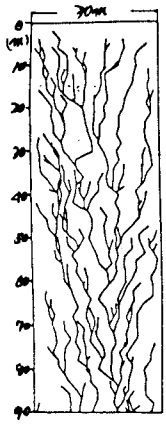


Fig.10 シミュレーションの方法

レーションでは幾つかの試行の結果$\alpha=\pi/8$を採用した。こうして個々の谷頭から次々にがり経路を描いてゆき、その前に形成されたがり経路に合流したり領域外に出たとき、がり経路の伸長は停止させる。これによって、領域内にがり網が形成される。これらのがり網の形態を定量的に評価する為に、第2章で述べたStrahlerの次数化を行い、N_ω(がり本数)とω(次数)及び$\bar{L}_\omega$(がり平均長(m))とω(次数)の関係で把握することにする。次に述べる各種のシミュレーションでは、夫々において同じ操作を5回繰返し、所定の谷頭数(領域内の)に対するがり網を5個づつ作成した。

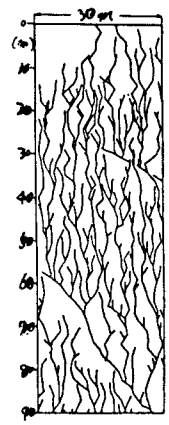
3) シミュレーション結果；①<u>がり本数についてのシミュレーション</u>；平坦な斜面を設定(式(3)にて$\alpha=0$とおく)して、領域内のがり数だけの影響をみる。平坦の場合、数個の同規模のがり網が領域内にできるが、そのうち最大のものを次数化の対象とした。Fig. 13及び14にみる様に、がり数が増加する(本シミュレーションではがり数Nは39から174まで行った)につれて、$N_\omega\sim\omega$の関係は上方に移動、$\bar{L}_\omega\sim\omega$の関係は下方に移動した。その際、出現するがり網を表わす点のバラツキの幅がせばまっていった。②<u>凹地形のシミュレーション</u>；凹地形を設定(式(3)にて$\alpha=-\sin^{-1}(x_i/R)$とする。ここにRは等高線の曲率半径でここでは水系(1)の集水域内のそれの平均値から$R=40.$ とおいた。x_iはi番目のstepの点の位置を表わすx座標)して行うと、平坦な斜面に比べ、一つの大きながり網が領域上に形成され、例としてFig.15及び16にみる様に、$N_\omega\sim\omega$及び$\bar{L}_\omega\sim\omega$の関係を表わす点のバラツキがせばまった。又、がり数を増や

した（がり数N=39から94まで）場合，それらの関係の挙動は①と同様である。即ち，がり網が発達すると，その幾何学的統計則が強く出てき，N_w～wの関係は上方に，L_w～wは下方に移動する。③人為溝に関するシミュレーション；平坦斜面を設定し，更に条件として領域の上，下流部に人為溝を入れて行うと，例えば，Fig.17及び18にみる様に，②と同様，平坦斜面の場合に比べ大きながり網が形成された。又，がり数を増やす（N=66から174まで）と，がり網での統計則が強く出てきた。関係N_w～w，L_w～wも①②同様，夫々上方，下方に移動した。④がり幅に関するシミュレーション；①，②及び③で生成したがり網に幅く実測からみ断して1次がりで0.3m，2次で0.4m，3次で0.7m，4次1.5m，，5次で1.8or6.5m程の中を設定）をつけて，微地形を生じさせることを行うと，平坦斜面の場合はほとんど影響は出ない。凹地形斜面や人為溝のある斜面の場合は，まれに高次のがり網が出現し，又，谷頭の平面分布が上流に若干偏った。⑤流土土砂量のシミュレーション；④のシミュレーションで生成された平坦斜面，凹地形斜面，そして人為溝のある斜面の領域における各次数のがりに，Fig.9に示した現地斜面のがり網における各次数のがりの平均断面積を与えて各斜面領域における総がり容積を計算し，これにより平坦斜面，凹地形斜面及び人為溝のある斜面からのがり侵食による流土土砂量を計算してみると，同数のがりが斜面領域に発生した場合では，凹地形斜面からの流土土砂量が卓越し，侵食がかなり進んだ段階では，それについで，平坦斜面からのものが大きい結果が得られた。



凹地形・幅付シミュレーションの一例（ガリ数N=94）

Fig.11



人為溝・幅付シミュレーションの一例（ガリ数N=174）

Fig.12

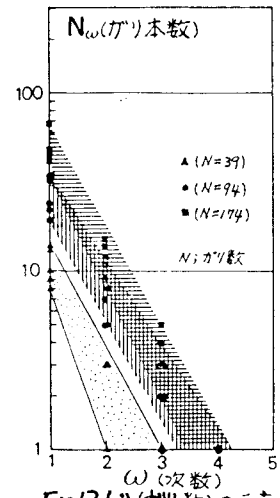


Fig.13 (1)(ガリ数)のシミュレーション結果）

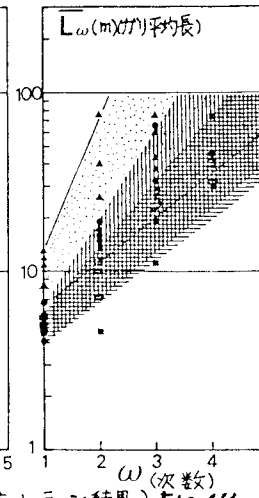


Fig.14

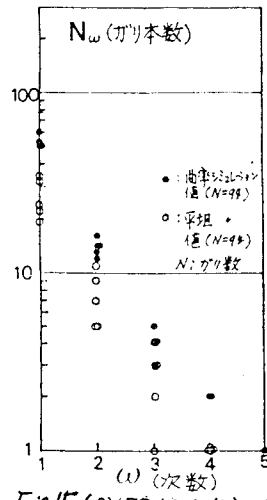


Fig.15 (2)(凹地形)のシミュレーション結果）

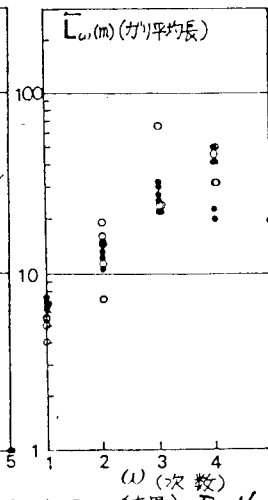


Fig.16

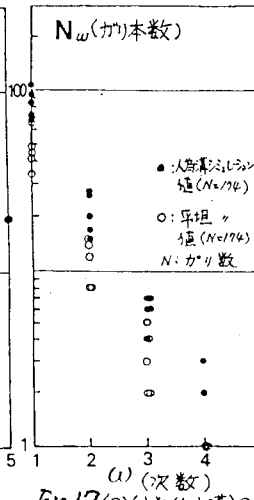


Fig.17 (3)(人為的小溝)のシミュレーション結果）

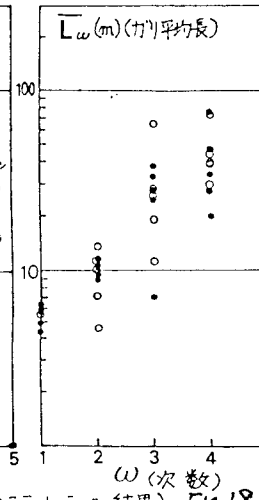


Fig.18

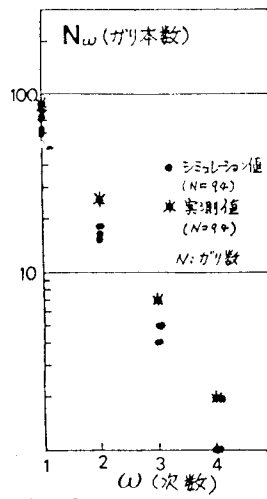


Fig.19 凹地形・幅のシミュレーション結果と調査結果）

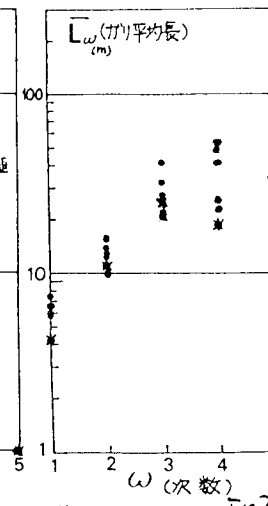


Fig.20

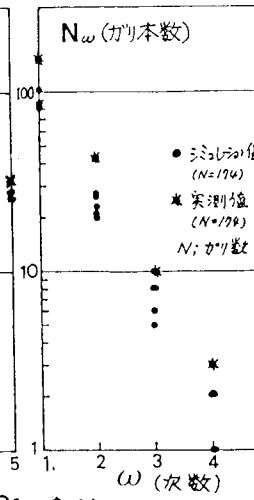


Fig.21 (人為溝・幅のシミュレーション結果と調査結果）

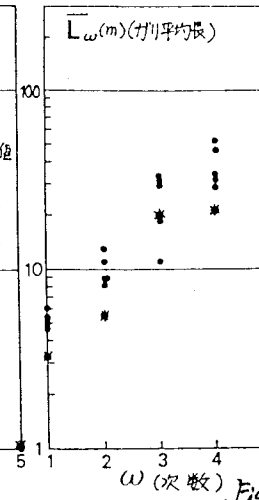


Fig.22

4) モデルの妥当性；凹地形斜面を設定し、領域内に $N=39, 82, 94$ のガリ数を配布し、更に幅を考慮して行った結果の三種のガリ網（その一例として Fig. 11）と、昭和48年、51年、及び53年時における現地斜面のガリ網（水系(I)）とを比較する為に、$N_\omega \sim \omega$ 及び $L_\omega \sim \omega$ の関係でみると、例えば Fig. 19/20 にみる様に、何れの場合も現地のガリ網の特性をよく表わした。又、平坦斜面に人為溝を設定し、領域内に $N=66, 155$ 及び 174 のガリ数を配布し更に幅を考慮した結果の三種のガリ網（その一例として Fig. 12）と昭和48年、51年及び53年時の現地ガリ網（水系(II)）とを比較した場合も、例えば Fig. 21/22 にみる様に、上と同様な事が言える。これらによりモデルの妥当性が確認されたが、$N_\omega \sim \omega$ におけるシミュレーション値は実測値をやや下回り、$L_\omega \sim \omega$ ではシミュレーション値は実測値をやや上回った。これはシミュレーションによるガリ網の規模が、少しく現地のガリ網（水系(I)(II)）よりも小さい事を示すものである。今後は、諸パラメータの大きさの検討だけでなくより実態を取込んだシミュレーションを改良する必要があろう。

4 おわりに

現実の斜面では、ガリ侵食が一般的であると指摘されているにも拘らず、現実の時間的・空間的スケールでのガリ網についての定量的把握を行なった研究は極めて少ない。著者ら[2),3)]は、経時的な調査と河川の水系網に関する研究にみられる解析法によってそれを行い、その結果、ガリ網に於ける幾何学的統計則、つまり Horton 則に相当する規則性と、ガリ網の発達の仕方の概要を見出す事が出来た。

更にがりの実地調査から得られた知見に基づいてがり網の形成・発達に関する確率的シミュレーションモデルを構成して各種のシミュレーションを行った結果，がり網の形成に於ける斜面地形（凹地形）及び斜面上の人為的な小溝の影響の大きさが理解された。即ち，それらの条件を備えた斜面では，領域上に一つにほぼまとまった大きながり網が出現する。また，斜面上のがり数の増加ががり網の規模，発達に与える影響を知り，発達に伴う法則性の動態的把握を行った。つまり，Horton則に相当する幾何学的統計則が強く出てくる。又，$N_w \sim w$ 及び $\bar{L}_w \sim w$ の関係は，現地のがり網についてみたものと同様，夫々，片対数座標にて上方および下方に移動する。

はじめに述べた様に，斜面からのがり侵食による流亡土砂量を予測したり，侵食斜面の変貌を予測する為には，今後，がり網の形成・発達に関するシミュレーションモデルの改良のほか，がりの発生機構に関する研究やがり網を構成する個々のがりの規模及びその発達に関する土砂水理学に基づく研究が必要であろう。

引用文献

1) 矢橋晨吾・高木　東・中野政詩：浪岡東部丘陵地における土壌侵食－斜面の侵食に関する研究(I)－農土論集，76．pp.31~37（1978）

2) 高木　東・矢橋晨吾・中野政詩：がり網の規則性と発達－斜面の侵食に関する研究(II)－　農土論集．77．pp.47~52（1978）

3) 高木　東・矢橋晨吾・中野政詩：がりの縦横断形特性とがり網の発達－斜面の侵食に関する研究(III)－　農土論集．90．pp.17~25（1980）

改良山成工災害の問題点について

愛媛大学農学部　中村忠春

1、改良山成畑の特色

畑は造成形式により、山成畑、斜面畑、階段畑、改良山成畑に、分類されている。この順序で、造成には人為操作を多く要し、規模も一般的に大きくなる。現況地形のまま開墾して造成された山成畑と、現況地形を大きく切盛して緩傾斜になるよう造成された改良山成畑とでは、名称こそ似ているが全く異質の畑である。

改良山成畑は、むしろ"人工畑"とか"機械化畑"とでも称すきものであるから、他の畑にくらべ、長所はともかくとして次のような短所がある。したがって、改良山成畑にみられる災害も、やはりこの短所が反映されたものになっている。

(1) 原地形を大きく改変しているから、出来上った畑は、地形的にも水文的にも、原地形との整合性を欠き易い。

(2) 大きく切盛しているから、出来上った畑は、切土、盛土部それぞれ広範大規模であって、両者間の異質性がきわだち易い。

2、改良山成畑災害の実態

災害をメカニズムからみると、水食災害と崩壊災害とに分けられ、被害ケ所からみると、ホ場内災害とケイハン災害と全面的崩壊災害とに分けられる。

2－1　ホ場内にみられる災害の実態

水食によるものがほとんどである。植生被覆された場所では発生してもごく軽微であり、裸地でも有機物が多くなると被害は少ない。したがって、造成中とか造成後で、植生がなくしかも膨軟な裸地状態の場合は、粘質土でも水食され易く、砂質土だと甚大な被害をこうむる。改良山成畑は、勾配こそ10°以下と緩いが、ホ場が長大なので、流去水が多量になって ホ場からあふれ、ケイハン浸食を発生したり、さらにケイハン崩壊を誘発したりし易い。

たとえば、液性限界60～70、塑性指数10～15もある粘質土の造成農地が水食された例をみてみよう。30cm深以上のがり侵食が発生しているが、仮比重は造成表面で1.28～1.48、侵食表面で1.60～1.65であった。いっぽう自然土層は1.85～1.90と重いから、それが耕起されて85%程度以下に軽くなると、侵食され易くなるものと考えられる。堆肥を入れると1.05～1.10と著しく軽くなるが、

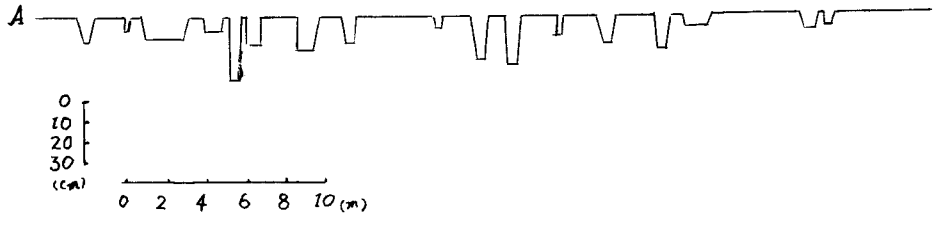


図　粘質土のホ場が造成直後に受けたがり侵食横断面

侵食は全く発生していない。

2－2　ケイハンにみられる災害の実態

2-2-1　ケイハン侵食

前節で述べたように、木場内侵食が著しくなって拡大した場合はもちろんのこと。結局は、木場よりの流去水処理が適切でないことが原因となっている。ことに改良山成畑は、木場面積が広大であるから流去水が多量になり、しかもケイハンも長大になり勝ちであるから、ケイハン水食による災害が多い。しかし植生被覆が十分ならば、ほとんど被害は生じていない。また裸地状態のとき生じたものでも、植生が覆うと侵食はそれ以上進んでいない。

たとえば、木場よりの流去水を排水路で集めて流下処理しても、ケイハン勾配は30°以上もあるから射流状態で流下するから、次のような実態をとって斜面を侵食し勝ちである。

(1)　排水路の継手や小さな石コロにあたっても跳水し、飛末がケイハンを侵食する。

(2)　流心が水路軸と一致することはほとんどないから、流れは蛇行回転しようとして跳水する。半円形断面水路ではことに著しい。

(3)　暗渠の場合は跳水が飛ばないが、流木や落石がつまり易く、かえってあふれて著しい被害をおよぼすことが多い。

2-2-2　ケイハン崩壊

前節に述べたように、水食が著しくて誘発される崩壊、地中水

が増加して土層の強度低下により生ずる崩壊、斜面の風化が進んで安定がくずれる崩壊などがある。また崩壊形態には底部破壊・斜面先破壊・斜面内破壊の三タイプがある。したがって、機構的にも形態的にも崩壊現象は多彩であるが、盛土斜面に生ずる崩壊と切土斜面に生ずる崩壊とにわけて集約してみよう。

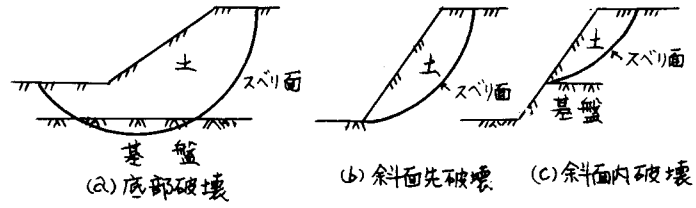


図　有限斜面の崩壊形態

一般に盛土部は人為的なものであるからコントロールがきくが、それに反し切土部は操作がきかない。したがって被害は、盛土斜面よりもむしろ切土斜面に多発するようである。しかし被害程度は、盛土斜面の方が大きいようである。但し、砂土では逆になる。

(A) 盛土ケイハンの崩壊

水食が著しくて崩壊までにいたるものは、水食の生じ易い砂質土か火山灰土の土層で、しかも植生の覆っていない造成中か造成直後に生ずるものである。斜面先破壊や斜面内破壊（半切半盛斜面の場合）の形態をとる。

地中水増加による土層強度低下が原因となる崩壊が最も多く、土質にこだわらず造成中でも造成後でも発生し、崩壊形態もいろいろである。したがって、造成後一年経って、水が集中し易い梅雨期と台風期を無事のりきれば、環境条件の急変がない限り安定が続くのが普通である。しかし、集中豪雨などがあると、異常な

地中水集中がみられて崩壊が発生し易い。

(B) 切土ケイハンの崩壊

切土ケイハンは盛土ケイハンにくらべ、自然生成のままの土層ないし腐朽岩層であるから、水食にも地中水増加にも盛土より耐性がある。しかし腐朽岩層の場合、風化土化が進行し、造成当時の勾配では平衡がたもてなくなって崩壊すること多い。

十分に風化熟化した土層は、これ以上風化が進まないから安定を保つが、腐朽岩層はさらに風化土化が進むから崩壊し易い。ことに軟岩だからと勾配を急に切取りしている場合や、局部的な風化土化部があって土化のバラツキが著しい変成岩や風化花コウ岩などはこの被害が著しい。

2－3 全面的崩壊災害の実態とメカニズム

ホ場内での水食もケイハン部までおよぶし、ケイハン部の崩壊はそれに続くホ場に影響をあたえるから、局部的な災害のほうがむしろ少ないといえよう。しかしここでは、災害の中心点が明確でなく、農地が土層基盤ごと全面的に崩壊する災害で、改良山成畑独特の大規模なものを意味する。

2-3-1 全面的崩壊災害の実態

(A) 降雨状況

梅雨末期や台風期の集中豪雨のように、比較的降雨が続いているとき、尻上り的に連続[illegible]mm程度の降雨がみられた場合に発生している。

(B) 崩壊形態

改良山成畑の緩斜面ホ場が、全面的にその基盤土層ごと滑動するものである。山津波のように、ホ場が一挙に流動流下するものと、地すべりのように、ホ場内が時間的にも量的にも一様に動かずに、裂けたり褶曲したりするものとがある。山津波型のものも途中でとまると地すべり型と同様な形態になること。地すべり型のものもゆっくりした流動ともみられることなどから、本質的には同じ現象であると考えられる。

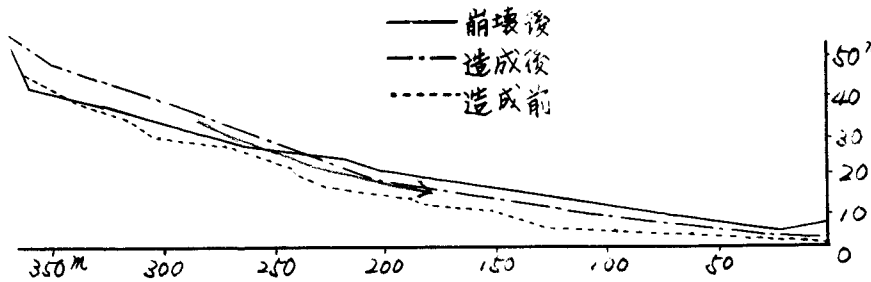


図 山津波型崩壊（砂質マサ土）

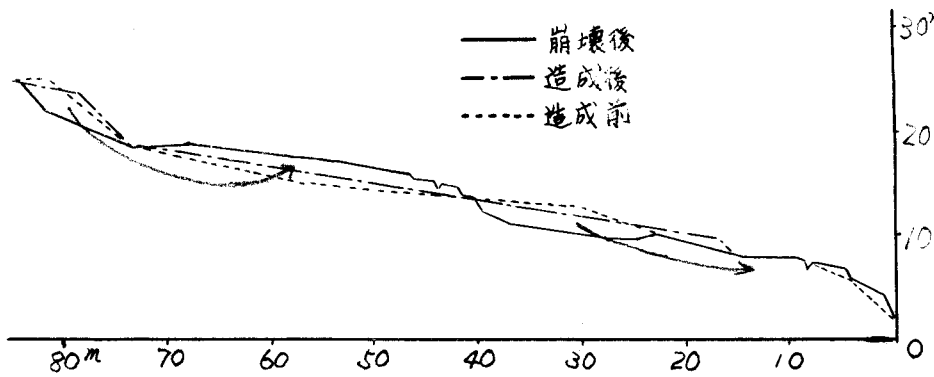


図 地すべり的崩壊（頁岩の粘質土）

(C) 地形・地質・土質

地形は、渓流や谷田を埋立てて造成しているので、勾配10°程度の緩斜面ホ場を主体に勾配30°程度のケイハンが分在する。造成地外は、当然一般的に小起伏の山地地形である。

地質は、花崗岩・角閃岩などの火成岩地帯、洪積台地、第三紀の砂岩・頁岩地帯、結晶片岩の変成岩地帯と多彩であるから、地質的な差異はないと考えられる。

土質は、砂・ローム・粘土とあらゆる土の種類にみられるから、土の種類の差は関係ないと考えられる。しかし、砂分が半ば以上か粘土分が1～2割までの砂質土やロームならば、山津波型崩壊となるので被害は派手に目立つが、粘土分が1/3以上の粘質土ならば、地すべり型崩壊となるので局部的変形だけが目立って小規模被害と見過されている。

2-3-2　全面的崩壊のメカニズム

山津波型にしろ、地すべり型にしろ、全面的崩壊災害にみられる共通点は、農地の土層基盤そのものが全面的に滑動すること、降雨が続いたところに多量な降雨が集中することの二点にすぎない。地形・地質・土質などの条件は、滑動による変形運動の形態を規定するだけの条件のようにみられる。

(A)　盛土層の密度

改良山成畑の盛土層は、特に締固めたものではないから良く締まっていない。乾燥密度γ_dと締固試験における最適乾燥密度$\gamma_{d\,max}$との比$\gamma_d/\gamma_{d\,max}$をみると、砂質土で83～88%、粘質土では78～85%程度にすぎない。締固まった道路直下などは約100%になっているが、それでも深さ1m未満までの土層にすぎない。

(B)　土の強度

マサ土に例をとろう。圧密排水試験では砂質土・粘質土ともϕ_d

は35°以上もある。しかし非圧密非排水試験では飽和度が高まるとϕ_u・C_uともに低下する。その傾向は、γ_dが低いものほど著しく、砂質土より粘質土の方が甚しい。マサ土に例をとると図にみるように、$\gamma_d/\gamma_{d\,max}$が90%以下の土は、飽和度が0.8～0.9になるとϕ_u・C_uはほとんど零，つまり流動化する。しかし90%以上の土は、飽和してもほとんど強度低下していない。

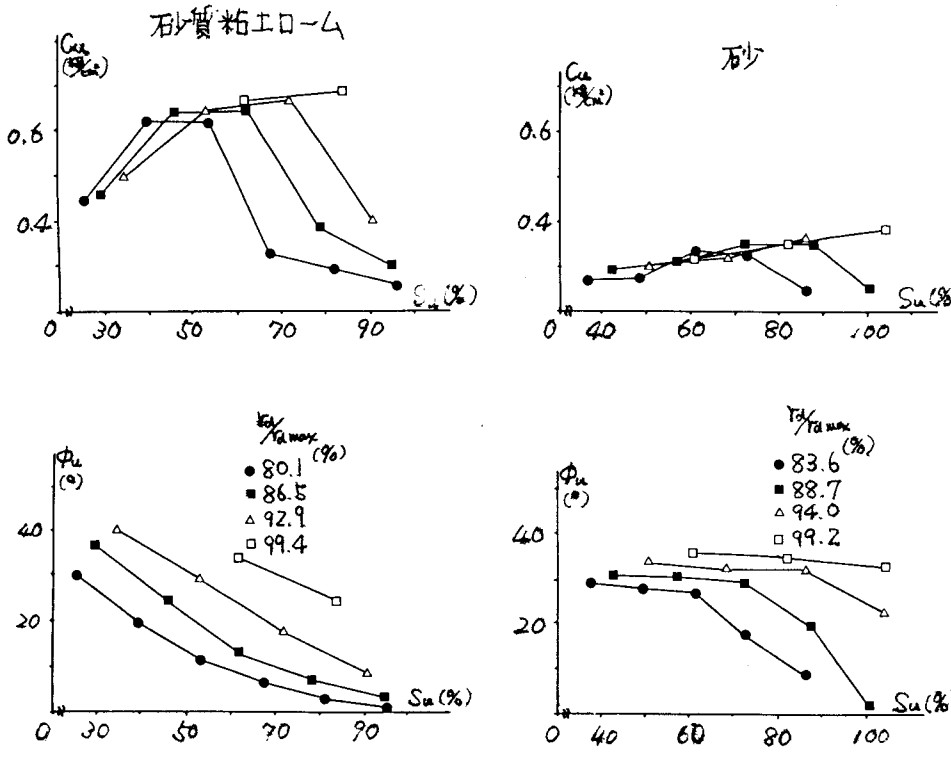


図　マサ土における飽和度S_uと強度ϕ_u・C_u

以上みたような、密度が低いと、飽和度が高くなり、非排水状態であると、強度は急低下する傾向は、他の土でも同様にみられる。

(C)　土の透水性・保水性

土の透水性は、密度が増すと急速に低下するが、その傾向は砂

質土よりも粘質土の方が著しい。透水係数はγ_d/γ_{dmax}が90%以上だと砂質土で10^{-4}cm/sec、粘質土で10^{-6}cm/secにもなるが、90%以下だと砂質土で10^{-2}cm/sec、粘質土で10^{-4}cm/secにすぎないことがある。

保水性は、粘質土では高いが、砂質土では低い。

(D) 崩壊への過程

改良山成畑は人工的に尾根を削り谷間を埋立てたものであるから、平坦な緩斜面地形は起伏の多い旧地形と比べ、厚くて締っていない盛土層は薄くて締っている旧土層と比べ、それぞれ異質性がきわだち整合性を欠いている。したがって深く埋立てた旧谷間にある盛土層下底付近は、おのずから水が集中して飽和度が高まり易い宿命にある。もちろん旧谷間の排水については考慮してあるが、その排水能力が欠けたりそれを上まわるほど集水したりすると、盛土層下底は非排水状態となる。本質的に締っていない盛土は急激に強度低下するから、下底部が不安定になると全土層が原地形に沿って滑動しだす。これが全面的崩壊である。

砂～ロームの土層は透水性が高く保水性は高くないから排水性は良い。したがって非排水状態になり難いが、排水機能を失うとたちまち非排水状態になる。連続降雨後の集中雨でこの災害がみられるのも、連続降雨で土層自体の飽和度が高まっているところに、集中雨による小災害で排水末端がつまったり破壊されたりするために誘発される2次災害であるからである。粘土の土層は透水性が低く保水性が高いから排水性は悪い。したがって非排水状態になり易いが反面飽和度は高まり難い。これまた連続降雨の

後にこの災害がみられるのも、土層の飽和度が上昇するのに時間を要することによるものとみられる。

4. 改良山成畑災害の防止

このように改良山成畑災害は多彩であるが、風食・水食は植生の有無で大差があるし、地表水・地中水の処理いかんによって水食や土層崩壊も左右される。したがって、防止や復旧には、植生による対処と水処理による対処とがあり、さらに直接的な土木手段による対処が加わる。ことに造成施工途中は、規模が大きい上にこれらの対処が不十分であるから、被害が著しいことが特徴的である。

以下対処の要点を具体的にあげてみよう。

4－1　植生による対処

風食防止の防風林や防風垣、水食防止の土砂止林、斜面保護の植生工などの直接的防止ばかりでなく、栽培や土壌管理などの農耕自体が寧ろ対処の中心でなければならない。

(1) 市販の種子は事実上種類が限定されているが、発芽して速やかに地表を被覆すればよい。不適当ならば適当な雑草が交替するものである。

(2) 全斜面が完工してから植生するよりも、保全上からみて部分ごとに植生するべきである。

(3)種子が発芽不良ということはまずない。水不足のことが多い。

(4)ネット止めと併用すると、砂質土や石礫の多い斜面にでも成功することが多い。

(5)点播する場合、方眼状にして株間を縦方向に通すとガリ侵食し易い。市松状にして株間を通さないようにする。

4-2 水処理による対処

承・集・排水路よりなる地表水処理は水食防止・地すべり防止に、横孔ボーリング・暗渠排水・集水井などの地中水処理は地すべり防止に有効にはたらいている。

(1) 承・集・排水路や地中排水工を綜合して排水システムとして配慮すべきで、別々に考えるべきではない。

(2) 地表水は裸地でないと集中しないから、承水路は裸地部分に設置せねば無駄になる。

(3) 承水路には、流去水が流水し易いように欠口をつけるか地表面より低く設置する。この場合、土砂が流入しないよう、欠口部や縁辺部には植生するのがよい。

(4) 集水路は、尾根部に設ける場合と谷部に設ける場合とがあり、いずれも一長一短であるが、なるべく凹所におき、なるべく盛土部にはおかない方針で設置すればよいだろう。

(5) 集水路は急勾配なので跳水して水食し易いから、2-2-1ケイハン侵食で述べたように半円管は避けるべきである。開渠の場合は、両岸30～50cm幅程度を舗装するか植生するのがよい。暗渠

ならこの心配はないが、土砂・流木がつまり易いから、断面に十分な余裕がないと危険である。

(6) 集・排水路は、流去水が集中する自然流路を利用するのが集水効果上よい。

(7) 承・集・排水路よりなる排水系は、土砂流入・流木などにより機能が失われると、水が集中するだけにかえって大きな被害を呼びこむ。十分な余裕断面をとるとともに、小災をこうむらない場所を選び、管理し易いようにすべきである。

(8) 集水暗渠にはフィルターを十分に施し、目づまりを防ぐ。

4-3 その他の対処

水食による土砂流亡を防ぐ土砂ダメ・沈砂槽・砂防ダムなどの保全施設。がり侵食や斜面崩壊を復旧する砂防工。急傾斜面では保全・復旧ともに有用な斜面保護工・擁壁工がある。

4-3-1 保全施設

土質によって水食耐性に大差がある。砂質的なマサ土になる花コウ岩地域などは、大きな沈砂池を要するが、粘土質になる変成岩地帯などは、土砂ダメ程度で十分である。いずれにしろ、施工中と直後とに必要なもので、熟畑になると水食はほとんどなくなる。したがって、沈砂・沈泥を施工中に掃除するように管理が行届けば、もっと規模を縮少できるのではないだろうか。

4-3-2 砂防工

周辺の旧地形よりの影響をさけるための対策である。がり侵食

や斜面崩壊の復旧での山腹工と地すべり地の渓流侵食防止でのケイ流工とがある。山腹工は、斜面が安定するまでの仮設工事的なものであるが、大ゲサでなく有効なものである。カヤ・ソダ・ワラ・木材・石材などが入手し難くなってきたが、新しい意味で古来からの山腹工をみなおすべきであろう。

4-3-3　斜面保護工と擁壁工

斜面保護工は、斜面自体が安定するように保護するものであるから、排水性を配慮しながら、表面を必要に応じ植生・人工材料・格子枠・方格材ワラ・蛇カゴ・コンクリートブロックなどで覆うものである。それに反し擁壁工は、直接に土圧と対抗しているもので、土圧は土の飽和度が低いと小さくなるから、これも背面の排水性を配慮せざるをえない。コンクリートやブロックで覆った斜面保護工を擁壁のようにみなしてしまうことは、技術者でも少なくない。なるべく排水性のよい植生被覆の斜面保護工を主体にすべきであろう。

なお斜面整形の場合、斜面肩の隅を円弧または放物線に仕上げるラウンディング(rounding)を施しておかねば風化が進んで斜面がくずれ易い。

4-4　斜面の崩壊への対策

排水機能を失わしめる小災害を発生させないことが第一である。なお、盛土末端をアースダム級に締めて滑動を止めること、竪井戸で排水管を通ず異常な集水を緩和することなどは効果がある。

土壌侵食研究の背景と現況

山口大学工学部　　藤原　輝男

1　土壌侵食研究の背景

1・1　黄塵問題

1934 年5月12日、高さ数千フィートにわたる大砂塵が、モンタナなどの西部干バツ地帯から押し寄せて来て、ニューヨークなどアメリカ東海岸全体の太陽の光にフィルターをかけたといわれる。この濃い塵の霧はアメリカ中部大平原（Great Plain）から吹き上げられ、大陸を横断するジェット気流にのって運ばれた3億5千万トンと推定される肥沃な表土で、アメリカはこの時中部10州にまたがる大平原という地域全体の崩カイという高い授業料を払ってはじめて土壌侵食問題に取り組むことになった。

前代未聞の砂嵐が発生した翌1935 年に土壌保全局が設置され、土壌保護のための国の施策が一国の命運をかけて始まった。

1・2　ＵＳＬＥ式の開発

1940 年にZinggは斜面長、傾斜角と土壌侵食量との関係式、1941年にはSmithにより植生と保全の効果、1947 年にはBrowningによる土壌特性および管理法による侵食量の変化などについての基礎的研究が進められていった。

しかしこれらの研究は主にコーンベルト地帯（アメリカ中部のトウモロコシの主力生産地帯）で進められた地域的な制限をもつものであった。かくて1946 年にはオハイオ州で国内委員会が持たれ、いかなる地域にも適応できる方程式の開発を目標に、降雨因子などの追加が検討された。

その後、中央政府と州の協力により49地域を選定して研究プロジェクトが組まれ、各地域での圃場による測定データがSoil Loss Data Centerへ送られ、その数は10,000以上に達した。Agricultural Research ServiceとPurdue大学の協力の基にそれらのデータの解析が遂行され、1954年に次の(1)式のようなUniversal Soil Loss Equation(土壌侵食予測式：略ＵＳＬＥ式)が発表され、各地域毎に因子の数値化を試みることが提唱された。

$$A = R \cdot K \cdot \underset{(Ls)}{L \cdot S} \cdot C \cdot P \qquad \cdots\cdots(1)$$

ここに　Ａ：単位面積当り年間土壌損失量(tons/acre・year)

Ｒ：降雨、　Ｋ：土壌、　Ls：地形、　Ｃ：作物、　Ｐ：保全

の各因子

以上がアメリカでの土壌侵食研究の概略の背景(経過)である。

勿論、各国毎にそれぞれの研究の歴史をもつが、現在このＵＳＬＥ式が最も権威あるものとして世界中で認められ、各国毎にこの式の数値化を試みている現状から見て、以上をもって土壌侵食研究の背景と言っても大過ないものと思われる。

2　ＵＳＬＥ式

2・1　基本的考え方および基本的事項

(1)　許容侵食量

ＵＳＬＥ式の主な目的は侵食量を許容値以下に抑えようとすることであって侵食量を0にしようとすることではない。

土壌保全局の初代局長になった土壌生態学の世界的権威者であったヒュー・Ｈ・ベネットによれば、施肥を行なったり、耕作をしたりする土壌については15～20

年間に 1 m/m の表土すなわち 1 ha当り 1 年間に約 15 t/ha/year の培土が生成されるという。

以上のことから農業生産性の高水準を経済的に維持しようという基点に立ってアメリカでの土壌損失許容量は、土壌によってある程度の差はあるが一応 5 ton/acre (≒ 12 ton/ha) という許容値が与えられている。

(2) 因子の値

ＵＳＬＥ式を構成する各因子は降雨の違いによって相当異なった値を示すが、これらの変動は長期間に亘っては平均化する傾向があることから、1 年周期を基礎としてデータを収集し、それらの値の 20 年〜 30年 (出来るだけ長期) の平均値をもって決定する方法がとられている。

したがって短期間の変動に対しての予測としては本質的に正確さを欠く。

(3) 基準圃場

(i) ディメンジョン …… 斜面長 72.6 フィート、巾 6 フィート。(面積 0.1 エーカー)

(ii) 斜面コウ配 …… 均一 9 % (コーン・ベルト地帯の代表的コウ配)

(iii) 圃場表面 …… 休閑地をきれいに耕した状態 (裸地) (傾斜の上下方向に耕し、耕してから 2 年以上作付けしない圃場とする。土壌侵食量を測定する期間中は毎年春に、慣習的なトウモロコシの苗床のような状態、すなわち土壌表面がひどく堅くなったりして植物の成長を妨げない程度の状態にする。)

アメリカにおいては以上を基準圃場とし、この基準圃場からの侵食土量と任意の

圃場からの侵食土量との比でL、S、C、Pなどの因子の値を決定する。（標準圃場の場合 Ls＝C＝P＝1.0 とする。）

2・2 因子の説明

2・2・1 R（降雨）因子……侵食性因子

激しい雨の観測されるリルや堆積土砂を見ていると、主な侵食がほんの2～3の強雨、あるいは降雨のピーク強度のみの作用によるものだという結論を導き勝ちであるが、アメリカの多くの州での20年以上の実測結果は、激雨によるものは勿論であるが、普通の強雨による累積的な影響も充分に大きいことを示している。

(1) 降雨エネルギー（E）

自然降雨に関する研究から、降雨強度が大になるにつれて雨滴の平均径も大きくなることが知られている。

雨滴の径が大きくなると落下終末速度も大となる。

雨滴エネルギーは雨滴の落下速度の2乗に比例する。

以上のことから降雨エネルギー（E）は、直接降雨強度（I）に関係しており、Wischmeier and Smith により

$$KE = 916 + 331 \log_{10} I \quad \cdots\cdots (2)$$

なる式が与えられている。

なおこの(2)式はKEに foot·tons/acre·inch、Iに inch/hr なる単位を用いたときの関係式であるが、メートル系に換算すると次の(2)′式のようになる。

$$KE = 210.3 + 89 \log_{10} I \quad \cdots\cdots (2)'$$

ここにKE：m·ton/ha·cm、I：cm/hr　（付録A参照）

(2) 降雨侵食指数（EI値）

R因子を決定する際の基礎となる概念で、侵食を起す力（侵食ポテンシャル）は降雨エネルギー（E）それ自体が最良の尺度ではなく、降雨エネルギー（E）×降雨強度（I）なる値によりよく比例することからEI値をもって侵食ポテンシャルの基本的ファクターに選んだ。

たとえば、同じ降雨エネルギーを持つ場合でも、弱い雨が長く続く場合よりは強くて短い雨の方が侵食作用が大きいからである。

(3) R値の算定法

(i) 自記雨量計の記録紙から降雨強度の急変点を読みとり、急変点と次の急変点の間は一定強度（直線）と見做して平均降雨強度I（cm/hr）を求める。

(ii) 降雨量1 cmに対する1 ha当りの運動エネルギーを求める式 $KE = 210.3 + 89\,\log_{10} I$ なる式にIの数値を代入して KE（$\frac{m \cdot ton}{ha \cdot cm}$）の値を求める。

(iii) 急変点毎に区切った各区分時間内の降雨量がr cmであったとすれば、降雨量r cmに対する1 ha当りの運動エネルギーを求めるためにr倍してE（$\frac{m \cdot ton}{ha}$）値とする。

(iv) 各区分ごとにE値を求めたものを合計して一雨のE値とする。

(v) 一方、一雨中の30分最大降雨強度 I_{30} を記録紙より読みとる。

(vi) EI値＝E値×I_{30} により計算してEI値とする。ただしこのEI値は一降雨の値である。

(vii) 一年間には何回もの降雨があるので各降雨について求めたEI値を合計してR値とする。アメリカではこのR値は5桁位の値を示すので計算の便宜上、100で除した値を用いることにとり決めがなされている。

以上がR値の算定方法であるが、理解を深めるため、1980年に大韓民国利川地

区で行なった実測の計算例を付録Ｂに掲載する。

２・２・２　Ｋ（土壌）因子……被侵食性因子

降雨という侵食しようとする力に対応して侵食されまいとする力を表わす因子で、標準圃場での単位侵食指数に対する年間土壌損失量で表わされる。

すなわち、いま標準圃場のときのＬ、Ｓ、Ｃ、Ｐ因子をそれぞれ1.0とすると、標準圃場の場合(1)式は

$$A = R \cdot K \qquad \therefore K = A/R \quad (\text{ここに} R = \Sigma EI)$$

となり標準圃場での年間土壌損失量をΣＥＩで除した値として求められる。

２・２・３　Ｌ、Ｓ（地形）因子およびＣ、Ｐ（管理）因子

任意の長さの斜面長からの土壌損失量と標準圃場からの土壌損失量との比の値、任意の傾斜角をもつ圃場からのものと、標準圃場からのものとの比の値を、任意の斜面長、任意の傾斜角をもつ圃場のＬおよびＳ値とする。Ls 値という１つの値で考える場合もある。

Ｃは植生およびマルチなどの管理を行なった圃場からの侵食量と裸地である標準圃場からのそれとの比、Ｐは等高線栽培、帯状作付、テラス工法その他の施工を加えた圃場からのものと上下耕を施した標準圃場からのものとの比で求められる。

アメリカでは、ほとんどの状況に対して、ある特定の地域のこれらの６つの因子の概略の値が得られるようになっており、特殊な条件下でもおよその推定が行えるまでに至っている。

２・３　ＵＳＬＥ式の使い方

いま、次のようなデータが得られたとする。

(1) 最近20年間の地方気象台の記録より計算されてＲ＝340

(ii) 対象地区の土壌から見てK = 0.42

(iii) 斜面長が30 m、傾斜が20°から計算式あるいは図表を使って Ls = 0.45

〔解〕

まず、裸地（植生なし、C = 1.0）、無施工（P = 1.0）の場合を考えると(1)式より

$$A_1 = R \cdot K \cdot Ls = 340 \times 0.42 \times 0.45 = 64.3 \left(\frac{ton}{ha\ year}\right)$$

という許容量12（ton/ha year）をはるかに超えた侵食量が予測される。

この農地にバレイショを植えるとするとその場合C = 0.301となることが求められているので

$$A_2 = 64.3 \times 0.301 = 19.4 \left(\frac{ton}{ha\ year}\right)$$

と減少するが、まだ許容量を越えている。

いまさらに等高線帯状作付を行なうことにするとP = 0.50 なることが求められているので

$$A_3 = 19.4 \times 0.50 = 9.7 \left(\frac{ton}{ha\ year}\right)$$

となり許容量を下回る侵食量に抑えられる。

USLE式は以上のような使い方で開発地その他の土壌侵食防止策の指針とするのであるが、問題はR値の算定方法なり、土壌分類型のすべてに亘ってのK値の決定、Ls 値の計算式（図表化を含む）、植生の種類とその成長段階におけるC値の把握、栽培方法および承水路などの施工の影響によるP値の決定など今後の研究により、より普遍的な、より確実なものへと歩を進める必要があり、事実各研究者共その努力を重ねているのが現状である。

およそ土壌侵食現象は複雑に絡み合った、しかも地域性をもつために多くの研究者による研究および現場での貴重なデータの収集の遂行と、それらを持ち寄って横の連繋を保ちながら問題解明および設計基準作成に向うことの必要が痛感される。

なおその際に、測定方法、解析方法などの統一した基準化が先行して強く望まれている。

3　土壌侵食研究の現況

3・1 アメリカ

ＵＳＬＥ式を軸に土壌保全局、農業試験場などの行政機関と各大学との密接な連繋を通して枚挙するに暇ない程各種の研究が行なわれ、現実に土壌の後退を各地で少しずつ食い止める力となっている。

3・2 日　本

わが国において土壌侵食の問題が大きくとりあげられてきたのは終戦後のことで、昭和20年初期から、三原による雨滴侵食のメカニズムの研究、種田による降雨の性質と土壌侵食に関する研究をはじめとして、各研究者によるいろんな側面からの研究（雨滴エネルギー、侵食メカニズム、薄層流による侵食理論、ガリ、植生、土粒子団粒、侵食災害、帯状作付の効果、土壌の凍結融解による侵食、……などなど）が真摯に進められてきたし、現在なお進められつつある。

ここで特筆すべきは農業土木学会内に農地保全研究部会が設立され、各研究者間の横の連繋を保ちながら情報交換および討議を行なう場を持ち得たことであろう。

なお文部省科学研究費により、侵食問題に関する研究者グループ毎の研究・討議が密に重ねられ、測定方法の基準化の問題をはじめ侵食研究の急速な解明が進められ、さらに土壌侵食に関する海外学術調査団による韓国との共同研究など海外における研究の成果も評価されるに至っている。

3・3 韓　国

土壌侵食研究者の数においては決して豊かではないが、韓国農村振興庁は水原市内に18のプロット（圃場）、農業振興公社は利川市郊外に27プロットを設置し、1975年より総合的な侵食実験を開始し、ソウル大学校農科大学の研究者と共に解析を行なっている。また山林庁では議政府市郊外にパーシャル・フリュームを設置して樹林の生長に伴なう侵食土量の変化についての流域測定を行なうなど、国をあげて開墾地の土壌侵食問題の解明とその防止策の確立に努力している。

3・4 フィリッピン

University of the Philippines at Los Baños(UPLB)の研究者を中心に関係政府機関と共同してProgram on Environmental Science and Management（PESAM)プロジェクトを推進しており、その中のUpland Hydroecology Program の中で土壌侵食の実測・研究が行なわれ、Instruction（講習）、Extension（普及）、Training（訓練）にも力が入れられている。

3・5 その他

文献によれば南アフリカではボツワナ、スワジィランド、マラウィ、ジンバブエ—ローデシアなどの諸国でSLEMSA（Soil Loss Estimator for Southern Africa）委員会を設立し、共同して年間平均の土壌損失量の予測についての研究を続け、すでに一応の予測方式についての発表も行なっている。

この他、世界各国でこの種の研究の動きが活発である。

〔付録 A〕

＜ 降雨エネルギー式のMetric Systemへの変換 ＞

この関係式の変換に際して先ず注意しなければならぬことは、アメリカでいう1トンは1,000 Kg ではなくて、1トン＝907.2 Kg だということである。

現在、重量単位としては米トン（Short Ton ともいう＝2,000 ℓb）と英トン（Long Ton＝2,240 ℓb）とがあり、Short Ton の場合は tons と書く。

1 foot ＝ 0.305 m　　1 inch ＝ 2.54 cm

1 tons ＝ 0.9072 ton　　1 acre ＝ 0.4047 ha

したがって $\frac{m \cdot ton}{ha \cdot cm}$ の単位を用いた時の値は $\frac{foot \cdot tons}{acre \cdot inch}$ の単位を用いた時の数値の 3.72 倍の値を示す。すなわち、

$$1 \ \frac{foot \cdot tons}{acre \cdot inch} = 1 \cdot \frac{0.305\,m \cdot 0.9072\,ton}{0.4047\,ha \cdot 2.54\,cm} = 0.269 \ \frac{m \cdot ton}{ha \cdot cm}$$

$$\therefore 1 \ \frac{m \cdot ton}{ha \cdot cm} = 3.72 \ \frac{foot \cdot tons}{acre \cdot inch}$$

$$1 \ inch/hr = 2.54 \ cm/hr$$

$$\therefore 1 \ cm/hr = \frac{1}{2.54} inch/hr$$

なおここでＩの項は $\ell og_{10} I$ なる関数であるため inch/hr の単位を cm/hr の単位にするためには

$$\ell og_{10} \frac{I}{2.54} = \ell og_{10} I - \ell og_{10} 2.54 = \ell og_{10} I - 0.405$$

よって

$$KE = 916 + 331 \cdot \ell og_{10} I \quad (KE: \frac{foot \cdot tons}{acre \cdot inch}、I : inch/hr)$$

なる(1)式はメートル系に直すと

$$3.72 KE = 916 + 331 (\ell og_{10} I - 0.405) = 916 + 331 \ell og_{10} I - 134$$

$$\therefore 3.72 KE = 782 + 331 \ell og_{10} I$$

$$KE = 210 + 89 \ell og_{10} I \quad (KE: \frac{m \cdot ton}{ha \cdot cm}、I : cm/hr)$$ となる。

〔付録 B〕

一降雨のＥＩ値計算（例 1980 年 7 月 1 日）

—— 韓国・利川 ——

時刻	降雨継続時間 T(hr)	累加降雨量 Σr_i (cm)	区分時間内降雨量 r_i (cm)	平均降雨強度 I(cm/hr)	降雨量1cm当りの降雨エネルギー KE (ton·m/ha·cm)	区分時間内降雨量当りの降雨エネルギー E(ton·m/ha)
13：40	0.00	0.620	0.000	0.000	0.00	0.00
14：20	0.67	0.730	0.110	0.165	140.66	15.47
17：30	3.17	0.750	0.020	0.006	14.54	0.29
18：30	1.00	0.920	0.170	0.170	141.81	24.11
19：10	0.67	1.060	0.140	0.210	149.98	21.00
21：10	2.00	1.130	0.070	0.035	80.72	5.65
21：40	0.50	1.240	0.110	0.220	151.78	16.70
21：56	0.27	1.260	0.020	0.075	110.18	2.20
22：53	0.95	1.600	0.340	0.358	170.58	58.00
23：30	0.62	1.850	0.250	0.405	175.40	43.85
23：50	0.33	2.030	0.180	0.540	186.48	33.57
0：30	0.67	2.100	0.070	0.105	123.19	8.62
1：40	1.17	2.100	0.000	0.000	0.00	0.00
2：40	1.00	2.150	0.050	0.050	94.51	4.73
4：50	2.17	2.150	0.000	0.000	0.00	0.00
5：30	0.67	2.180	0.030	0.045	90.44	2.71
9：00	3.50	2.200	0.020	0.006	10.67	0.21
		計 1.580				E値＝237.11

I_{30} ＝0.46 (cm/hr)，　EI_{30} 値＝ 1.09

1 年間のＲ値計算

年月日	降雨量 (cm)	降雨継続時間 (hr)	E 値 (t•m/ha)	降雨強度 I_{30} (cm/hr)	EI_{30} 値
1980					
6. 16	8.37	17.667	1807.24	2.30	41.57
6. 26	5.19	33.750	917.45	1.44	13.21
7. 1	1.58	19.333	237.11	0.46	1.09
7. 14	8.91	20.167	1953.95	2.96	57.84
7. 15	2.20	12.667	357.88	0.60	2.15
7. 18	1.52	14.617	262.45	0.88	2.31
7. 20	1.14	6.167	276.88	1.62	4.49
7. 21	5.52	20.167	1361.52	3.94	53.64
7. 22	11.98	13.500	3104.57	6.60	204.90
7. 23	1.52	12.167	324.60	1.00	3.25
7. 29	0.88	13.083	145.74	0.70	1.02
8. 7	0.45	7.167	59.27	0.32	0.19
8. 11	0.54	1.167	102.94	0.64	0.66
8. 13	3.51	9.500	638.65	1.00	6.39
8. 14	1.57	9.083	323.70	1.34	4.34
8. 17	1.94	7.833	341.42	0.76	2.59
8. 26	9.14	20.083	1899.02	1.70	32.28
9. 3	0.74	0.583	176.83	1.44	2.55
9. 5	5.45	6.333	1238,62	2.80	34.68
9. 8	0.20	0.833	37.69	0.38	0.14
	72.35	245.867	15567.51		R値＝469.28

引 用 文 献

1. 上森千秋、土壌侵食防止対策に関する調査研究 ——韓国の山地開発に伴う土壌侵食防災 —— 、海外学術調査研究成果、(1982)

2. W. H. Wischmeier and D. D. Smith, Predicting Rainfall Erosion Losses —— A Guide to Conservation Planning, U. S. D. A. Agriculture Handbook №537

斜面ラシメータによる流出と土壌侵食の観測と解析

農業土木試験場 水利部　渋谷勤治郎

I　緒　言

我が国の畑地（普通畑，樹園地及び牧草地）のうち，傾斜度8°以上の地帯に存在するものは99万haに達し，畑地全体の41%を占めている。これらの農地を機械化営農に適するものに整備するためには，農地保全技術を欠かすことはできない。この場合，農地保全は高生産性を荷なう基盤を維持するものとして重要であるばかりでなく，下流地域の災害を未然に防ぐことにおいても重要である。

農地保全技術として土木的に重視しなければならないものは，排水秩序の維持であり，実施に当ってはこれを経済的に達成することが肝要である。但し，傾斜地における排水秩序の崩壊は農地災害をまねくことが多く，これは水田や平坦地畑の排水災害が主に作物被害にとどまることと対照的である。これらの事情を考慮して，排水計画の樹立に際しては十分なrobustnessを持たせておくことを考える必要があろう。

農地保全の良否を測る尺度の一つとして，農地からの土砂流出量をとり上げることができよう。土砂流出の原因としては，畑面侵食，承水路侵食，集水路・排水路溢水侵食，落差工・合流工溢水侵食，暗渠工閉塞溢水侵食，排水路洗掘，道路面・側溝侵食，

法面侵食，法面崩壊，沈砂池パイピング等がある。これらはいずれも原因に応じた対策を必要とするが，基本的対策として，ピーク流出量の削減と畑面侵食量の削減を考えることができる。この基本的対策を有効に実施するためにはピーク流量や畑面侵食量を正しく予測し，予測値が許容できるものであるか否かを十分に検討し，許容できる予測量になるように畑面勾配や畑面長，永水路の配置や断面形などを決めなければならない。

ピーク流出量や畑面侵食量の予測や削減対策については，これまでにも種々の研究成果があり，又，過去の経験や実績にもとづき事業も行なわれているが，現在の知見の状態では，なお研究を進める必要があるものと考えられる。そこで，斜面ライシメータを用いて観測と解析を行い，この種の問題解明の一助とするものである。

ここでは，実験に用いた3種類の斜面ライシメータを紹介し，それにより得られた流出と土壌侵食の観測結果にもとづく中間的な解析結果を示し，併せて土壌侵食についての若干の一般的問題に考察を加えるものである。

II　施設の概要

1．平塚斜面ライシメータ

長さ6m，幅1.5m，深さ1m，地表勾配20%（11°21′）のもの4基を用いた。測定は降水，表面流出，地下水流出及び土砂流出並びに一部の土壌水分張力を対象とした。

実験条件としては土性（ロームと砂土）及び地被（裸地と牧草地）を組合せた。ロームは関東ローム黒ボクで，砂分21～26%，シルト分59～64%，粘土分15～16%のシルト質ロームである。孔隙率は68～70%，仮比重は0.83～0.88である。又，粗孔隙率（pF 0～1.5）は15～18%である。砂土は平塚砂丘土で，砂分92～93%，シルト分2～3%，粘土分5～7%の砂である。孔隙率は51～56%，仮比重は1.3～1.4である。又，粗孔隙率（pF 0～1.5）は22～24%である。牧草はオーチャードグラスを主体とし，年産草量（生草）は9.5～72.6 kg（11～74 ton/ha）であった。

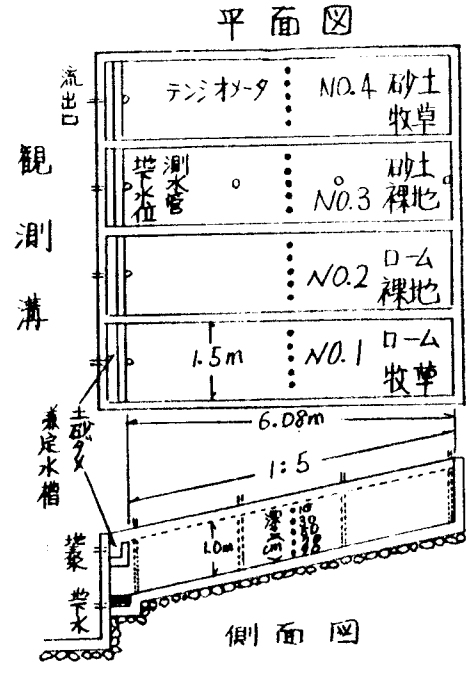


Fig. 1 平塚ライシメーター設置図

2．筑波斜面ライシメータ

長さ10m，幅2.5m，深さ2m，地表勾配2°，5°，7°，10°，15°（3.5%，8.7，12.3，17.6，26.8）のものを全部で20基用いた。測定は降水，表面流出，地下水流出及び土砂流出並びに土壌水分量を対象とした。（Fig・2参照）

実験条件としては土性（ロームと砂土）及び地被（裸地と牧草地）並びに地表勾配（2°，5°，7°，10°，15°）を組合せた。ロームは関東ローム黒ボクで，シルト分（φ0.005～0.074mm）を35～64%

含むシシト質ロームである。孔隙率は78～81%，仮比重0.54～0.56である。砂土は九十九里浜砂丘土で，細砂分（φ0.074～0.42 mm）を約80%含む砂である。孔隙率は52～55%，仮比重は，1.2～1.3である。牧草はオーチャードグラスを主体とし，年産草量（生草）は13～43 kg（5～17 ton/ha）であった。

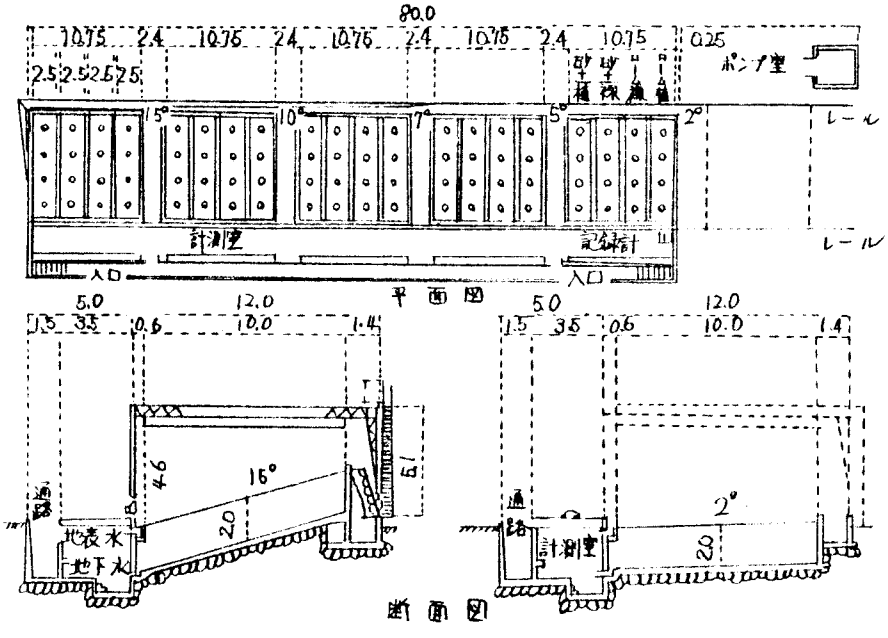


Fig. 2 筑波ライシメータ　（単位：m）

3．可変勾配ライシメータ

長さ10 m（有効長さ9.55 m），幅2 m，深さ1 m，地表勾配0°～25°（任意に設定可能）のものである。人工降雨装置が付設してあり，散水強度は20～150 mm/hr である。（Fig. 3参照）ノズルは滴下かんがい用のものにφ4.5 mm ℓ 60 mm のシリコンゴムチューブとφ3 mm ℓ 50 mm のガラス管（重り付）を取付け，約300 rpm の振動を加えて滴下させるものであり，雨滴径は5～6 mm，落下高さは最大4.65 m である。雨滴の運動エネルギーは，28～30 Jm^{-2}

mm^{-1}であり，WischmeierやHudsonの実測値と比較すると降雨強度60～100mm/hrの場合に相当する。

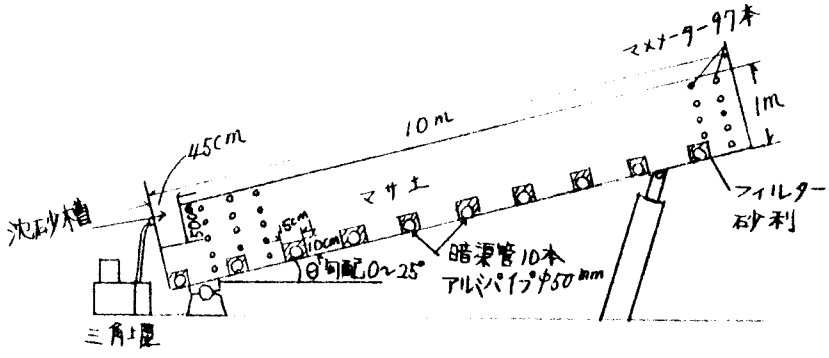


Fig. 3　可変勾配ライシメータ

Ⅲ　観測結果及び解析

1. 年間の水収支と土壌侵食

平塚斜面ライシメータにおける水収支と土壌侵食はTable 1のとおりである。ロームは裸地状態では著しい侵食を受けたが，植生状態ではほとんど侵食を受けなかった。砂土は裸地状態と植生状態でほぼ同様の侵食を受けた。

その原因は植生が貧弱であったこと及び植生による表面流出の減少が少なかったこと等が考えられる。我が国の年間許容侵食量を10t/ha（又は1kg/m²）程度と考えれば，斜面長6m，斜面勾配20%（11°20′）の畑面においてもローム植生区以外は過大の侵食を受けていたと言える。このことは草地の造成限界勾配が12°であることを考慮すれば斜面長の限度を示すものとして興味深い。

筑波斜面ライシメータにおける水収支と土壌侵食をTable 2に示す。ローム・砂土ともに表面流出が少ない。ロームは浸入能が著しく大きく，実測によると287～534mm/hr（φ30cm，5cm

湛水）の値を示した。又，砂土は46～52mm/hrであり，砂土としては比較的小さい。植生による表面流出の減少及び蒸発散の増加は平塚斜面ライシメータと同様の傾向を示した。地表面勾配による表面流出の相違については明らかではない。地表勾配の増加による表面流出量の増加が必ずしも明瞭でないことは注目に価しよう。この信憑性については，ピーク流出強度との関係を考慮して更に検討を要するものと考えられる。

土壌侵食については，植生区ではローム・砂土ともに勾配15°においても軽度であった。裸地区では地表勾配の増加による侵食の増加が著しい。ローム裸地区7°～15°侵食量は10～16t/ha/yrとなり許容限界に匹敵する。砂土裸地区は2°で8t/ha/yrとなり許容限界に相応するが，5～7°では22～36t/ha/yrとなり，許容限界をかなり超えるものとなった。10°及び15°ではそれぞれ98及び147t/ha/yrとなり著しい侵食を受けた。この様な激しい侵食では地力の維持は困難と考えられる。

Table 1　平塚斜面ライシメータにおける水収支と土壌侵食（昭41～50）

土性・地被	水収支（mm/yr）				土壌侵食量（年当り）		牧草収量（牧草・年当り）	
	表面流出量	地下水流出量	蒸発(散)量	計	kg	t/ha	kg	t/ha
ローム・裸地	163	815	652	1630	58	64	—	—
ローム・植生	49	750	831	1630	0.5	0.6	38	39
砂土・裸地	8	1110	512	1630	14	16	—	—
砂土・植生	15	972	643	1630	15	17	20	21

注）蒸発散量＝降水量－表面流出量－地下流出量

Table 2 筑波斜面ライシメータにおける水収支と土壌侵食（昭54～55）

土性・地被	地表勾配（度）	水収支 (mm/yr) 表面流出量	地下水流出量	蒸発(散)量	計	土壌侵食量(年当り) kg	t/ha	牧草収量(生草・年当り) kg	t/ha
ローム・裸地	2	17.6	587.8	697.1	1284.5	2.6	1.0	－	－
	5	19.3	576.8	691.8	1287.9	10.9	4.3	－	－
	7	18.2	593.3	673.0	1284.5	24.2	9.7	－	－
	10	17.9	566.4	700.2	〃	28.9	11.6	－	－
	15	15.3	564.4	704.8	〃	39.9	16.0	－	－
	平均	17.7	577.7	689.8	1285.2	21.3	8.5	－	－
ローム・植生	2	4.0	529.9	750.6	1284.5	0.9	0.4	46.7	19
	5	1.5	493.8	789.2	〃	0.8	0.3	74.4	30
	7	3.2	497.3	784.0	〃	1.4	0.5	73.2	29
	10	3.0	524.0	757.5	〃	0.6	0.2	44.1	18
	15	6.6	479.6	798.3	〃	1.3	0.5	45.9	18
	平均	3.7	504.9	775.9	〃	1.0	0.4	56.8	23
砂土・裸地	2	54.5	857.8	372.2	1284.5	19.2	7.7	－	－
	5	85.8	811.8	387.3	1284.9	54.2	21.7	－	－
	7	38.0	876.5	370.0	1284.5	89.6	35.8	－	－
	10	70.5	772.3	441.7	〃	244.0	97.6	－	－
	15	61.7	710.5	512.3	〃	366.2	146.5	－	－
	平均	62.1	805.8	416.6	1284.6	154.6	61.9	－	－
砂土・植生	2	2.8	767.2	514.5	1284.5	1.0	0.4	36.6	15
	5	2.8	678.6	603.1	〃	0.7	0.3	57.9	23
	7	9.3	648.8	626.4	〃	1.4	0.6	33.4	13
	10	8.2	706.8	569.5	〃	7.7	3.1	27.2	11
	15	12.7	637.8	634.0	〃	10.3	4.1	40.1	16
	平均	7.1	687.9	589.5	〃	4.2	1.7	39.0	16

注）蒸発散量＝降水量－表面流出量－地下流出量

2．降雨毎の流出と土壌侵食

a　平塚斜面ライシメータ

ローム裸地区における降雨毎のデータを用いて，降雨特性と表面流出及び土壌侵食との相関を算出しTable 3に示す．表面流出

と最も高い相関を示す降雨特性は(総)雨量であり，最大60分雨量や最大10分雨量との相関はあまり高くない。土壌侵食量と最も高い相関を示す降雨特性は最大60分雨量であるが，最大10分雨量とも高い相関を示す．又，土壌侵食量は表面流出量とも高い相関を示す。

表面流出量の降雨特性への回帰式は次のように示される。

$$D = 0.00109P^2 - 8.4 \pm 10.4 \quad \text{------} \quad (1)$$

$$D = 0.00105P^2 + 0.582R_{60} - 2.4 \pm 8.4 \quad \text{-------} \quad (2)$$

$$D = 0.00102P^2 + 1.129R_{60} - 0.106R_{10}^2 - 7.2 \pm 7.9 \quad \text{----} \quad (3)$$

但し，D：表面流出量（mm），P：雨量（mm），R_{60}：最大60分雨量（mm），R_{10}：最大10分雨量（mm），±10.4 etc：標準誤差。

これらの回帰式によると，表面流出は(総)雨量と最大60分雨量で大むね示せるが，ばらつきはかなり大きい。

土壌侵食量の降雨特性及び表面流出量への回帰式は次のように示される。

$$S = 0.401R_{60} - 1.4 \pm 3.7 \quad \text{------} \quad (4)$$

$$S = 0.384R_{60} + 0.000222P^2 - 2.9 \pm 2.6 \quad \text{-----} \quad (5)$$

$$S = 0.137R_{60} + 0.0239P + 0.106D - 3.6 \pm 2.6 \quad \text{------} \quad (6)$$

$$S = 0.319R_{60} + 0.000218P^2 + 1.850\,a/b - 3.1 \pm 2.5 \quad \text{-----} \quad (7)$$

但し，S：土壌侵食量（ライシメータ当り乾土kg），$a = R_{10} \times (10+b)/10$，$b = 60(R_{60} - R_{10})/(6R_{10} - R_{60})$．なお，$a/b$ は t 分降雨強度 $r_t = a/(t+b)$ の形で表わされると仮定した場合の最

人降雨強度とをわす。

Table 3 降雨特性と土壌侵食の相関行列
（平塚 昭46～50）

項目	雨量	最大60分雨量	最大10分雨量	表面流出量
最大60分雨量	0.110	—	—	—
最大10分雨量	0.071	0.881	—	—
表面流出量	0.075	0.424	0.306	—
土壌侵食量	0.515	0.759	0.729	0.710

土壌侵食量の回帰式がR_{10}やa/bの係数としてプラスの値を持つことは，短時間高強度の降雨が侵食の大きさを決める場合のあることを示唆するものと考えられる。これは表面流出の回帰式がR_{10}^2の係数としてマイナスの値を持つことと対照的である。

土性や地被の相違により年間の土壌侵食と年間の表面流出との関係が異なることは図g·4に示す。これによると，砂土は裸地区・植生区ともに侵食量と表面流出量との相関が高いのに対して，ローム区では両区ともに相関が見られない。ロームが団粒状をなし固結力があるのに対して，砂土は粘着力がなく，表面流出水による剥離・運搬を容易に受容するためと考えられる。

b 筑波斜面ライシメータ

事例として2降雨における裸地の侵食量と地表勾配との関係を図g·5に示す。両者の関係は指数関数で近似的に表わせるが，指数の値は降雨毎に変化し，又，土壌によっても異なる値をとるも

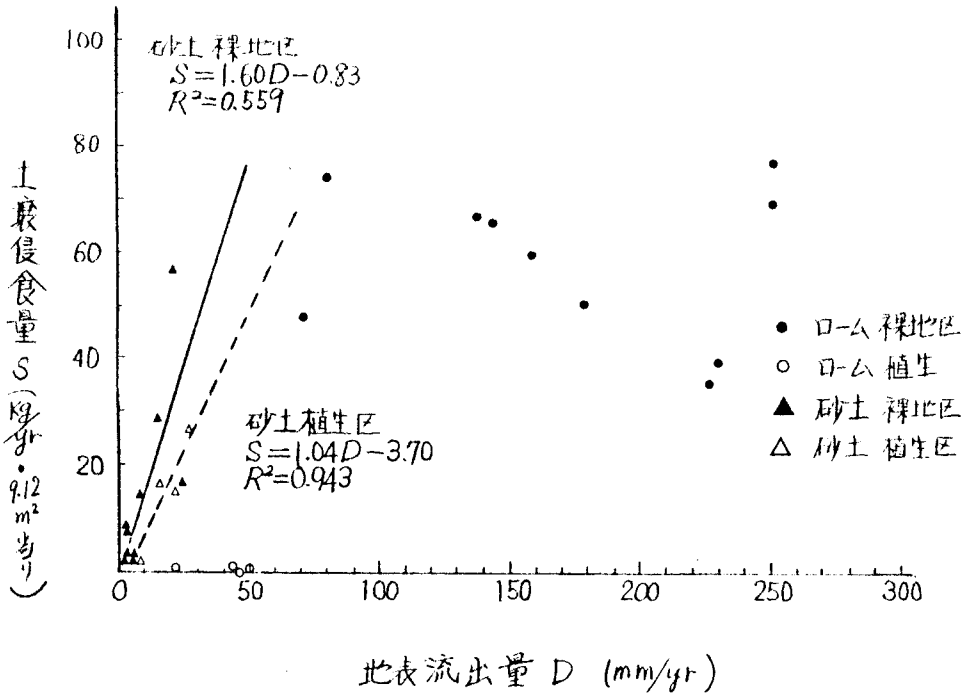


Fig. 4　表面流出と土壌侵食（平塚　昭41～50）

のと考えられる。土壌侵食は周知のように土壌粒子の剥離と運搬によって発生するが表面流出水の剥離力・運搬力が雨滴の剥離力・運搬力に対し相対的に勝る場合に指数の値が大きくなるものと考えることによってFig.5の事例を説明できる。なお，USLE式の勾配係数は $F=(430S^2+30S+0.43)/6.574$ で表わされるが，これを指数式で近似すると勾配が2°～15°の範囲では $F \propto S^{1.5}$ となる。但し $S=\sin\theta$，6.574は $\theta=5°8'34''$ ($\tan\theta=0.0700$) において規準化するための係数である。

侵食量が地表勾配の0.5～2.0乗に比例することは，隋用土壌，地被・斜面長の類似する斜面の実測侵食量から設計斜面の侵食量を推定する場合に利用できるであろう。

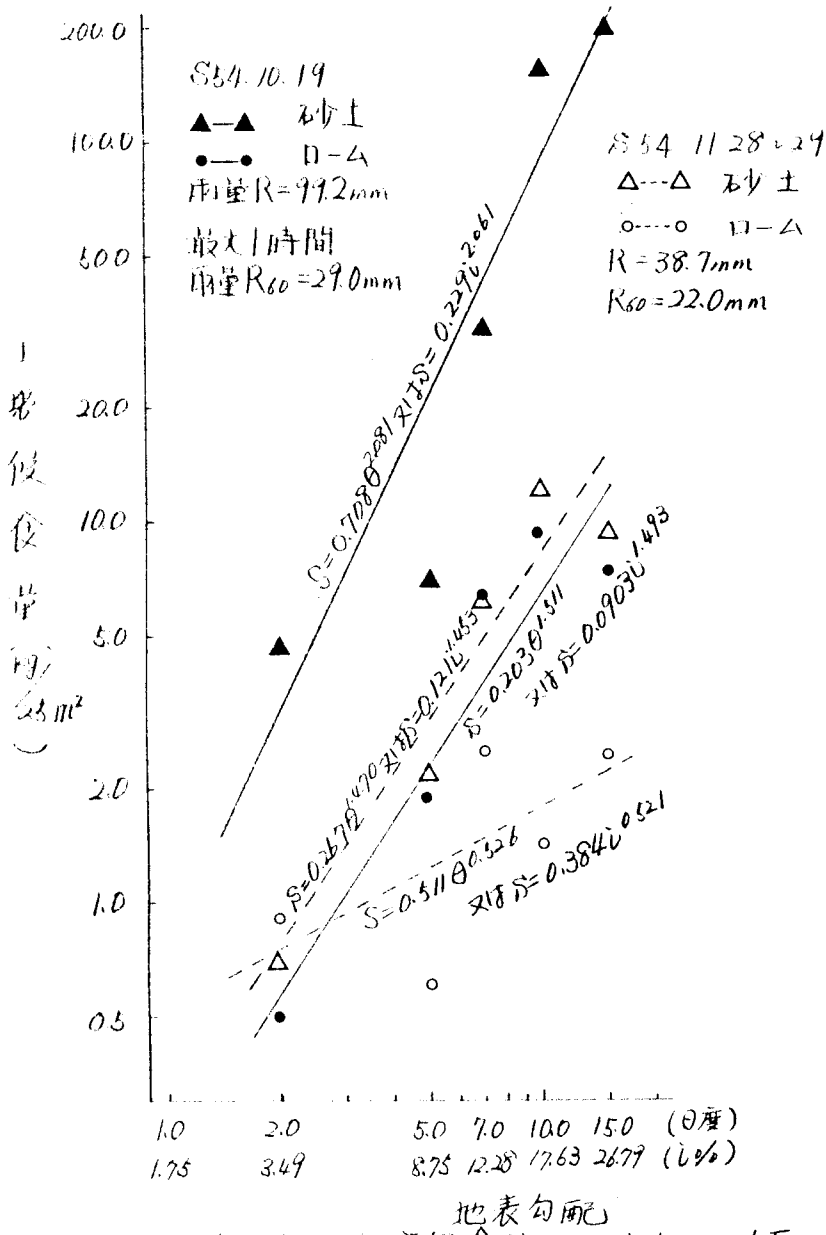


Fig.5 降雨毎の土壌侵食量と地表勾配（長さ10m 幅2.5m 裸地）

C. 可変勾配ライシメータ

昭和55年及び56年に行った散水試験の結果をTable 4に示す。用土は筑波山のマサ土（土性は砂土）であり，それを孔隙率40～44%，仮比重1.6～1.8に充填して用いた。

表-1 可変勾配ライシメータ流出侵食試験（マサ土）

NO	地表勾配(度)	散水量 (mm)	散水時間(分)	散水強度 (mm/hr)	ピーク流出強度(mm/hr)	浸入強度(mm/hr)	土壌侵食量(kg)	平衡に達する時間(分)
55-1	1	58.4	120	29.2	11.6	17.6	0.5	—
2	1	90.5	111	48.9	28.2	20.7	1.2	6
3	1	192.3	120	96.2	77.0	19.2	6.0	5
4	2	180.5	120	90.2	77.0	13.2	23.8	9
5	5	185.2	120	92.6	62.9	29.7	117.9	6
6	7	183.1	120	91.5	59.7	31.8	156.4	8
7	10	185.2	120	92.6	64.6	28.0	222.8	9
56-1	1	102.8	226	20～85	14.4	—	—	—
2	1	168.8	120	84.4	70.0	14.4	—	7
3	2	88.7	200	20～85	23.2	—	0.6	—
4	2	168.7	120	84.3	80.3	4.0	0.8	6.5
5	5	68.1	124	20～85	25.1	—	3.8	—
6	5	171.2	120	85.6	74.8	10.8	33.2	6.5

注）1) NO 55-1～7はマサ土裸地，NO 56-1～6はマサ土の上にネトロン網（5mm目）を1重に被覆した。

2)土壌侵食は19.1 m²（長さ9.55 m，幅2 m）当りであり，t/haへの換算は0.5×36を乗ずること。

3)NO.55-1～7では散水分布が不均一のため深い縦溝侵食を生じた。

4)NO 56-1～6では散水分布はほぼ均一と考えてよい。

ピーク流出強度（平衡時の流出強度）は浸入強度の変化によって微妙に異なる値を採った。浸入強度の変化は土壌表面の目詰りによる減少と侵食による増大との均衡の移動によって変化しているものと見られる。ピーク流出に達するまでの時間は比較的短かく5～9分であった。又，勾配による差は明らかではなかった。

土壌侵食は1°から5°までは勾配のほぼ2乗に比例して増大し，その後，5°から10°までは勾配のほぼ1乗に比例して増大している。

なお，この試験では散水開始前に前回出来たリルを修復せず，そのまま土壌面に散水を行った。又，散水分布の不均一性もあり，今後更に条件を整えて試験を行い，散水強度・勾配・土壌侵食の関係などの解明に当る方針である。

Ⅳ 考 察

1 USLE式について

土壌侵食公式（USLE式）は年間の土壌侵食量を予測する公式であり，強雨や弱雨，表面流出の多い場合や少ない場合を含めて実測された年侵食量に基づいてパラメータの値が校正されている。

又，斜面勾配や斜面長を算出するための数式の型も年侵食量に基づいて決められているものと理解される。我が国においても，年間侵食量を予測するものとしてUSLE式の研究が進められ，貴重な成果が得られている。

しかしながら，農用地の造成・整備の途中又は完成後間もない時期（営農の定着する以前）の侵食が大きな問題となっている我が国の実状を考えると，降雨毎の侵食量の予測の必要性が大きい。USLE式は上記のような成立過程から当然推論されるように降雨毎の侵食量の予測精度は十分でないと言われてきた。

降雨毎の侵食量予測式に関連する研究は我が国でも行われ，種々の成果をあげているが，ここでは研究的興味に若干乏しいが，

技術的に重要であると思われるFoster et al式を採り上げ，利用方法の検討を試みる。

Foster et al 式は降雨の侵食力と表面流出量及びピーク流量の侵食力を用いて，降雨毎の土壌剥離量を推定するものである。土壌侵食は前述したように降雨と表面流出水の剥離力と運搬力により発生するが，地表勾配の緩い場合や表面流出の極く少ない場合を除けば剥離力が侵食量の規制因子になると考えられる．従って，実際に侵食量が問題となるような場面に対しては，Foster et al 式を変形して得られた(8)式及び(9)式により算出される降雨による剥離量（リル間剥離量）と表面流出による剥離量（リル剥離量）との合計値が土壌侵食量の目安を与えるものと考えられよう．但し，この式は一降雨（侵食力EI，流出及びピーク流量の侵食力$aV_u\sigma_p^{1/3}$）により，勾配・地被・土壌が均質の斜面の単位面積当りに生ずる平均侵食量（剥離量）を示す．

$$G_{Li} = 4.57EI(S_0 + 0.014)K\phi P \quad \cdots\cdots (8)$$

$$G_{Fr} = (6.86\times10^6)S_0^2 V_u \sigma_p^{1/3} (L/22.1)^{\eta-1} K\phi P \quad \cdots (9)$$

但し，G_{Li}：リル間剥離量（g/m²），G_{Fr}：斜面長に対する平均リル剥離量（上限値）（g/m²），EI：降雨の侵食力（N/h），L：斜面長（m），S_0：斜面傾斜角のサインの値，η：リル侵食に対する斜面長指数，斜面長が50m以下では$\eta = 2.0$，50m以上では$\eta = 1.0 + 3.912/\ln x$，xは上流端からの距離，K：USLE式の土壌の受食性係数（gh/N-m²），アメリカのKの値に131.7

と乗じたもので，$K = 10 \sim 60$ gh/N-m² 程度の値となる。Φ：USLE式の地被・管理係数，P：USLE式の保全農法係数，V_u：流出量(m)，q_p：ピーク流量(m³/s)

なお(8)式及び(9)式の意味は次のとおりである。即ち，

$$E = (430S^2 + 30S + 0.43)/6.574 \qquad \text{------}(10)$$

斜面の傾斜度による侵食量の変化を(10)式で表わし（ただし $\tan\theta = 0.09$ で $E_0 = 1.0$ になるように規準化してある。$S = \sin\theta$），右辺第1項が表面流出水による侵食，第2項及び第3項が雨滴による侵食と考えるものである。表面流出水による浸食の見積りは，標準区画（$\tan\theta = 0.09$，$L = 22.1$ m）において，表面流出による侵食と雨滴による侵食がほぼ均衡するという考えのもとに流出水の侵食力を $aV_u q_p^{1/3}$ で表わしその係数を実測値により校正したものである。（V_u をcm，q_p をcm/hrで表わすと，その係数はほぼ15EI単位となる。）

平坦斜面ライシメータにおける降雨毎の雨量，降雨強度，流出量から計算した値はローム裸地区について，$\Phi P = 1.0$ として $K = 10$ gh/N-m² 程度の土壌受蝕係数を入れると実測値に近い侵食量が算出される。この場合，雨滴による侵食量を流出による侵食とほぼ2：1の値に算出される。

Foster et al 式については，更に実測データを用いて成績を検討する必要があろう。

2．斜面形と侵食量について

斜面勾配が均一でない場合においても，土壌・地被等の条件が均一であれば(11)式が成り立つと考えれば，(12)式によって，侵食量を最小にする斜面形（斜面勾配 $S = S(x)$）を求めることができる。

$$E_x = K\sqrt{\frac{x}{22.1}} \cdot \frac{430S^2+30S+0.43}{6.613} \quad \text{------}(11)$$

$$\frac{K}{\sqrt{22.1}\times 6.613}\int_0^L \sqrt{x}\,(430S^2+30S+0.43)\,dx \rightarrow \text{最小} \text{---}(12)$$

但し，(11)式の勾配に関する式は勾配3～18%において校正したものであるからそれから著しく外れる場合は適用できない。

斜面の曲線形を2次式に限定すれば Fig. 6 に示すように(13)式で表わされる。この式から得られる $S \fallingdotseq \frac{dy}{dx}$ を(12)式に代入して

$$\left.\begin{aligned} y &= ax^2-\left(aL+\frac{H}{L}\right)x+H \\ 0 &< a \leqq \frac{H}{L^2} \end{aligned}\right\}$$

a に関して(12)式の値を最小にする条件を求めれば，(14)式のようになる。

$$\left.\begin{aligned} &H/L \leqq 0.0612 \text{ のとき，} a = \frac{H}{L^2} \\ &H/L > 0.0612 \text{ のとき，} a = \frac{0.0222}{L} + \frac{0.6372H}{L^2} \end{aligned}\right\} \text{-----}(14)$$

これらの式から計算すると，均一勾配斜面より12%程度侵食量が減少するものと計算される。但し，$a = \frac{H}{L^2}$ の場合は，x 軸上 L の点に頂点が位置し，そこでは勾配がゼロになるから，前記の校正条件には合致しない。しかしながら，L の点に承水路を配置す

れば，流出土砂をあらかじめ堆積させてから流出水を承水路へ流入させることになるので好都合であろう。$H/L > 0.0612$ の場合においても $a = \frac{H}{L^2}$ を適用すると侵食量は約10%減少するから，これを利用するのも一案であろう。

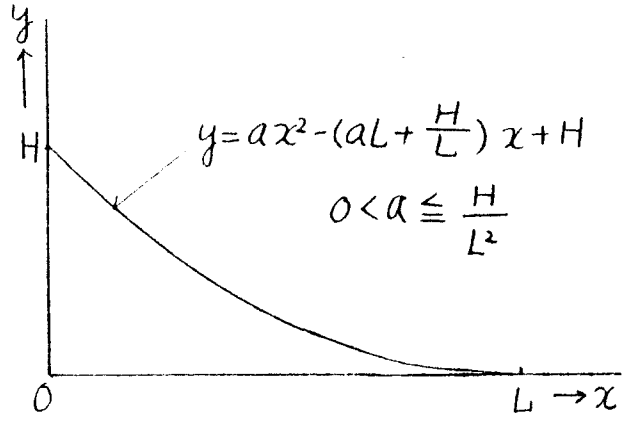


Fig. 6　斜面の形状（曲線形）

3．縦うねと横うねについて

縦うねは局所的に見れば流出水を集中させることから農地保全上は敬遠されがちである。しかし，大局的に見れば，斜面上の流出水を均等に流出させる効果を持つものとして注目されよう。我が国のように豪雨の多い所では，表面水を均等に流出させる効果は，大きな災害を招かないための方策としては利用に価するものと考えられよう。要は，中小降雨時においても，流出水の流速が過大にならないよう，横うねの利点を採り入れることが必要かと思われる。今後，大局的な縦うねの利点と局所的な横うねの利点を総合する施工方法を検討する必要があろう。

V　結　言

農用地を適正に利用して利益を上げることが最良の農用地保全の条件であろう。保全のためにのみ社会的コストを注ぎ込むことは負担が大きく実際には困難であろう。従って，生産性の向上と均衡のとれた保全のための投資は当然行うべきものであるが，現今のように農産物価格が低迷している時代にあっては，保全コストを十分にかけられず，経済収益と保全コストがトレードオフ関係にあるものと意識される。この関係の克服は科学技術の進歩によるコストのかからない保全法の開発によるところが大きい。この場合，土壌侵食を起こす条件及び侵食量の予測精度を上げることによって適正な計画を樹立して，全体的な保全コストを下げる方法と，経済的な保全施設や工法の考案による保全コストの切り下げが考えられる。前者については，今後更に侵食量予測式の適用性を検討し，活用する必要があるが，林帯や草生帯，沈砂池や緩勾配畑面を利用した湛水域や滞水域の利用も更に検討する必要があろう。

保全計画の要件は，言うまでもなく，計画基準内の条件に対しては十分に保全機能を発揮すること，更に計画基準より大きな降雨等に対しても大きな災害（特に外部に対する災害）を引きおこさないこと，及び各部分が均衡のとれたもので，異状に大きい自然災害に対しても備えのあることである。最近では，造成整備についての社会的合意をうるためにも保全（防災）は欠かせないものとなっている。保全計画における自然災害に対する対応の仕方

については更に検討する必要があろう。

ここに述べたものは農土試水利1研で行った研究の一部であり紙井泰典研究員，坂西研二研究員，九州農業試験場上村春美農業水利研究室長（前，水利1研主任研究員）の協力により行った観測値・測定値にもとづいて解析と考察を加えたものである。各氏に対して深甚なる謝意を表する次第である。

参考文献

上村春美（1977）：斜面ライシメーターにおける水収支の研究（I），農土試技報A14，1～16

渋谷勤治郎，上村春美，坂西研二（1981）：斜面ライシメーターによる水収支と土壌侵食に関する実験的研究，農土試報告，21，1～52

上村春美・渋谷勤治郎（1982）：斜面流出実験施設の建設・調整及び観測データの解析，農土試技報A26，39～66

Foster, C.R et al (1981) : Estimating Erosion and Sediment yield on Field-Sized Areas. Trans. ASAE 24 (5) 1253～1262

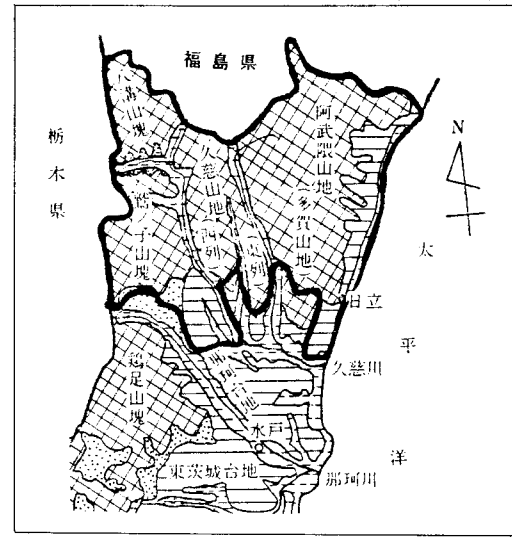
阿武隈八溝山系における草地開発地区の防災工の実施例について

農用地開発公団 多賀事業所　宮　木　省　三

I　はじめに

広域農業開発事業の一環として、農用地開発公団により昭和51年度から実施されている多賀区域は、茨城県北部に位置し、その事業目的は、現在粗放利用されている山林原野を牧草地として開発し、肉用牛、乳用牛の飼養のための共同利用牧場の設置により畜産物の濃密生産団地の建設を行ない、家畜飼養農家の経営規模の拡大を企ることにより、畜産経営の安定と農家所得の増大及び畜産物の安定的供給を目的としている。

（図－1）



本区域は大別して、阿武隈山地に属する花崗岩地帯、久慈山地に属する中新統の地帯、八溝山地に属する古生層の地帯に分けられるが、今回は防災上問題の多い花崗岩地帯の造成工法について報告する。

本区域の年間降雨量は1,600mmと比較的多雨地帯に属し、夏の干害も少ない所から、杉の生産地としても知られているが、このことは牧草の生育の条件としては非常に好ましい条件となっている。

造成予定地の中で主要な部分を占める阿武隈山地は、黒雲母を母岩としたマサ土地帯であり、海岸から5 Kmほど入った所から標高は急激に上昇し300mから600mの標高の山地を形成している。

その現況地形は、マサ土地帯特有の小さな谷の発達した急峻な地形を有しており、造成予定地の平均傾斜も、15度以上の急傾斜地が、全体の83％を占めており、飼料畑、採草地等機械管理を前提とした草地造成については、改良山成工法で大量の（20,000m^3/ha～30,000m^3/ha）切盛を行わないと安定した草地が造成できない所である。

当初計画ではこの区域の10年確率雨量は198mm/日とされていたが、昭和51年度に工事着工してから今日までに、日雨量200mm/日を超えるものが次のように表われ、度重なる災害によって造成工法も、次第に改善されている現状である。

昭和52年9月19日　204mm/日　　昭和54年5月14日　241mm/日

昭和57年4月　　日　242mm/日

これらの災害の結果、特に急傾斜のマサ土地帯での草地開発事業では、平坦地における造成工事と異なり、一旦洪水等により水路から草地に雨水が流水する場合は単に浸水するに止まらず、法面の崩解、ガリの発生等壊滅的な打撃を受けることとなる。

以下は、これらの経験に基づいて防災を主体とした工法別の説明、仕様規格、留意事項等について報告する。数値データーに欠ける所はあるが、草地造成事業等、工事の実施に当って、いくばくかの参考になれば幸いである。

Ⅱ　地区の概況

1.　気　象

(1)　一般気象

（表－1）

		放牧期	非放牧期	計又は平均	備考
観測期間		4月～10月	11月～3月		
平均気温	平均	17.1℃	3.9℃	11.6℃	
	最高	30.5℃	15.5℃		
	最低	22℃	－4.3℃		
降水量	平均	1,275.5㎜	349.7㎜	1,670.2㎜	
降水日数	平均	89日	36日	125日	
根雪期間		なし			
無霜期間		4月8日～12月11日（218日）			
最多風向		S　E			

観測期間　　昭和4年～昭和45年

観測所名　　神峯山測候所　　東経140°37′　北緯36°38′

(2)　特殊気象

（表－2）

		最大日雨量	最大時間雨量	最大連続雨量
第1位	数量	334.1㎜	81.7㎜	635.3㎜
	年月日	昭13. 6. 29	昭22. 9. 15	昭13. 6. 25～7. 3
	発生確率	1／600	1／83	1／100
第2位	数量	243.6㎜	77.8㎜	392.0㎜
	年月日	昭19. 10. 7	昭34. 7. 7	昭22. 9. 9～9. 16
	発生確率	1／99	1／67	1／20
第3位	数量	210.0㎜	60.0㎜	368.5㎜
	年月日	昭22. 9. 15	昭36. 6. 27	昭36. 6. 23～7. 1
	発生確率	1／27	1／15	1／20
第4位	数量	183.8㎜	58.6㎜	325.8㎜
	年月日	昭4. 5. 23	昭5. 7. 25	昭16. 7. 15～7. 23
	発生確率	1／12	1／13	1／10
第5位	数量	168.0㎜	54.0㎜	239.5㎜
	年月日	昭45. 11. 20	昭27. 10. 8	昭40. 9. 13～9. 17
	発生確率	1／8	1／8	1／5

観測所　　水戸地方気象台　　昭和3年～昭和50年

2. 土地状況

(1) 傾斜度

（表－3）

区　分	0°～8°	8°～15°	15°～30°	30°以上	計
面　積（ha）	38	113	531	202	884
比　率（%）	4.3	12.8	60.1	22.8	100

(2) 土地利用計画

（表－4）

区　分	飼　料　畑	採　草　地	放　牧　地	計
面　積（ha）	18	229	372	619

3. 土質状況

(1) 土壌の物理性

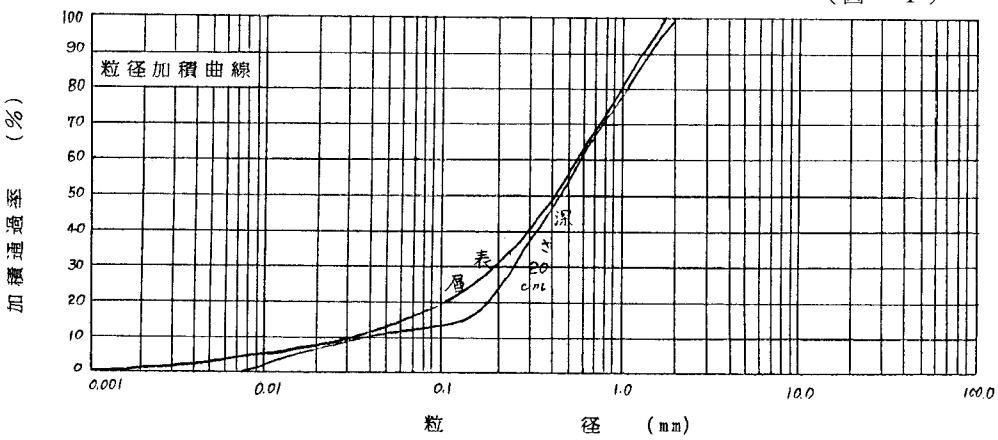
区域内の米平圃地における土壌物理性の調査結果は次のとおりである。

（表－5）

土壌恒数＼区分	表　　層	深さ 10 cm	深さ 20 cm
透水係数 R	3.8×10^{-4}	5.3×10^{-4}	5.7×10^{-4}
湿潤密度 γt	1.44	1.53	1.50
乾燥密度 γa	1.28	1.36	1.36
真比重 GS	2.76	2.66	2.57
間隙比 Y (%)	53.62	48.87	47.08
含水比 W (%)	11.1	11.1	9.33

(2) 土粒子の分析

（図－1）



Ⅲ　草地造成工法と防災上の留意点

農用地造成事業の中でも、農用地開発公団の行なう草地造成事業は、事業の中で牧草種子の播種作業を実施することができ、このことは防災上色々な意味を持っている。

多賀区域においては、その利用区分によって大きく、①飼料畑②採草地　③放牧地、に分けているが、各々の特色によって造成工法を選択している。

1.　飼料畑

飼料畑の作物は、限られた草地面積から栄養価の秀れた飼料を多量に収穫することに重点を置き、主として単年性のトウモロコシ、イタリアンライグラス、等の輪作体系を組んでいる。

造成予定地は急竣のため、主として改良山成工法によっているが、造の後の維持管理、水食防止を考慮し、造成勾配は3°～6°程度までとしている。

2.　採草地

現地の地形条件が急竣のため山成造成工法で実施できる所は限定されるため、大部分は改良山成工法によって造成している。

採草地の場合は、牧草が生長すれば、水食に対する抵抗力は急速に増大するので、これらの事を考慮に入れて工事費の低減化をはかっているが、マサ土の場合は水流が洗面を流下する場合は壊滅的な災害を生ずるので特に留意する必要がある。

3.　放牧地

現在造成している放牧地は、現地の地形上、勾配の緩かな所は

優先的に採草利用しているため、造成地の平均勾配が20°～35°と急峻となっている。

造成工法は、急峻地で地表を裸地化した場合は水食に対する抵抗力が無いため、現況地形を改修しない火入れ直播の「不耕起造成工法」によっている。

牧草種子も傾斜地での放牧を考慮して、牧草の永続性、蹄圧によるエロージョン防止に重点をおき、ペレニアルライグラス、レットップ等の混播量を増加している。

Ⅳ　工事工程と防災上の留意点

1.　牧草の播種適期と工程

草地造成の場合は、牧草によるマルチ効果をうまく利用することにより、水食防止を考慮する。通常牧草発芽後45日程度経過すると根張りもしっかりとし、水食や霜害に対して抵抗力を持つようになる。播種適期を外した場合は活着率は急激に悪化するため、牧草が生育していれば防止できた災害を受けることとなる。

2.　早期生育の良い品種の選定

牧草種子を春播する場合、多賀区域では4月上中旬とされているが、梅雨前線による豪雨が5月中旬には襲来するため、早期生育の良いイタリアンライグラスを混播することにより土壌侵食の防止に役立っている。

6月の梅雨により災害を生じた場合、一般の牧草の播種適期を逸したため、夏期間の降雨によるエロージョン防止として、シコ

クビエ、シロビエ等を飼料作物として播種したが、早急に生長しエロージョン防止に非常に効果があった。

3. 施肥量の増加と初期生育の促進

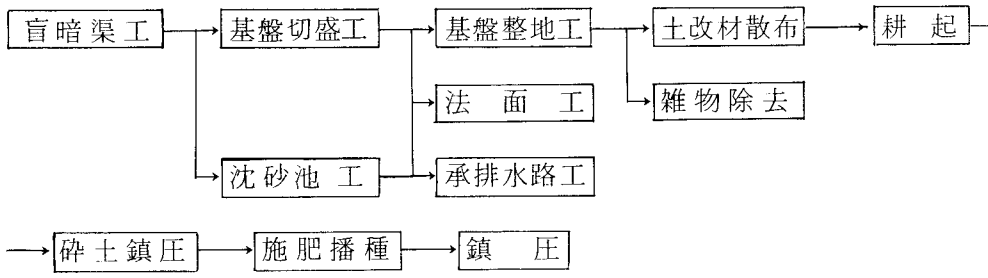
改良山成工法による場合は、有機質肥料分の少ない心土が作土となるため、牧草の生育が悪い傾向にある。エロージョン防止には仮排水路の掘削等も考えられるが、その費用を有機質肥料の投下に回わした方が牧草の急生長により、エロージョン防止に効果がある。同時に農家からは一番草の収量増大で喜ばれるなど一挙両得となる。

4. 多雨期を外した造成工期の配慮

多賀区域でのマサ土地帯では、造成工事中の雨水による災害防止には、多大の費用が必要となるため、改良山成工法による基盤造成の期間は梅雨期や台風時期をさけ、降雨量の少ない冬期間に行なっている。マサ土の場合は冬期施工の場合でも含水比増大による施工能力の低下はほとんど見られず、施工業者は降雨時の仮設に対する心配が少なくてすみ好評である。また内地の場合は、牧草の播種適期は9月とされているが、改良山成工法による造成の場合は、雑草との競合も少ないため、春播でも支障をきたしていない。

V　工種別留意事項等

多賀区域では、改良山成工法による草地改成工法は、おおむね次の工程により実施しているが、以下は各工種別に防災上の留意事項を記することとする。



1.　盲暗渠工

（説明）

改良山成工法によって草地基盤の造成を行なう場合は、その盛土部が沢や湧水のある場所にかかる場合には、盛土後、地下水により法面部が崩解することのないよう、基盤造成工に先行して谷底に暗渠排水工を設置し、地下水処理を行なう。

（仕様規格）

①　管　材……硬質ポリエチレン有孔管等

管長 50 m まで　　管径 φ 100 mm

管長 50m～100m　　〃 φ 150 mm

管長 100m～ 300 m　　〃 φ 200 mm

②　被覆材……吸出防止マット　　（ t ＝ 10 mm 以上）

③　掘　削……管径まで

（留意事項）

① 現在谷底部に表流水がある場合はその流量の多少により別に開渠により排水処理するほか、その水量の3倍以上の流量を流す管径を採用する。

② 管の伏設時に縦断方向のたるみを生じたり、コルゲート管を使用する場合は、管内に滞砂して管詰りの原因となる。

③ マサ土は透水係数が良いので、良い濾過材であるが、管の被覆に注意しないと、吸出し作用により管の周囲が空洞になることがある。

2. 承水路A

（説明）

圃場面を流下する雨水により水食されることを防止するため圃場面に等高線と平行方向に設置する排水路である。

（仕様規格）

① 構　造……原則として広巾の土水路とする。　圃場が広い場合は3本に1本の割合でBFの水路とする。

② 間　隔……土質及び造成勾配により異なるが、おおむね、30～40^{m}（標高差4^{m}）毎に1本の割合。

③ 縦断勾配……土質により異なるが、マサ土の場合は$\frac{1}{25}$～$\frac{1}{50}$程度の勾配とする。

（留意事項）

① 承水路を広巾の水路にした場合、潤辺の拡大により承水路の流速が低下し、水路底侵食の防止効果がある。　また広巾水

路によって雨水の貯留作用を行ない、洪水調整機能の効果を持つこととなる。　同時に滞砂能力をも有することとなるので、流末の沈砂池を小さくすることができる。

② 承水路堤体の盛土は、工事費を下げるため、基盤整地の段階でブルドーザにより下流側圃場の方から集積する。　この場合、下流側圃場は、流下水に対して水源側となるので、多少造成勾配が急になっても水食の心配は少ない。　なお、承水路のレベル部は承水路の水路底となるため、縦断勾配については特に注意が必要であり、ブルドーザ施工の可能な3 *m* 巾とした。

③ 承水路堤体土を上流側から集積する場合、上流側圃場の造成勾配が急になると、それが原因でエロージョンが発生する。

3.　承水路B

（説明）

圃場面からの雨水が、下流側法面を流下することにより、法面を崩解させることを防止する目的で、法頭に設置する。

（仕様規格）

① 構　造……原則として広巾の土水路とするが、土質がマサ土の場合及び集水域が80 *m* 以上になる場合はベンチフレーム水路を計画する。

② 縦断勾配……承水路Aに同じ。

（留意事項）

① マサ土は透水係数が良いため、承水路の水が法面に湧出し、

法面崩解の原因となる。

② 圃場からの流出土砂により承水路が堰止められ法面へ流下することが多い。

4. 集・排水路

（説明）

地区外からの流入水、又は承水路から流出した雨水等を受けて、地区外へ排出するため、草地の等高線と直角方向に設置する排水路。

（仕様規格）

① 構　造……原則としてベンチフレーム水路

（水量の多少により柵工、現場打等採用）

管渠……法面流下の場合

（留意事項）

① 水路断面は、計画基準雨量により計算されるが、水路の縦断勾配に変化が多い場合は一番緩かな所が全体を支配する要点となるので留意のこと。　また急傾斜地でのマサ土地帯で基準雨量以上の降雨があった場合、圃場は壊滅的な被害を受けるので、水路断面を複断面にするなど安全側で設計する必要がある。

② 水量にもよるが、水路の縦断勾配が8度程度以上に急になると斜流となり、水流のエネルギーは大きくなる。このため水路の途中での抵抗（水路の折れ曲り、突起物等）により跳水することとなり、水路決壊の原因となっている。

③草地水路は、雨量が多くなった場合は必ず土砂の排出を伴っているため、急流の場合は流去するが、水流が緩かになった所（縦断勾配の変化、折れ曲り、合流）では堆砂現象を生ずることとなる。この場合降雨の最盛期に流出した土砂が、降雨の末期には水量が減少するため流下できなくなって堆砂し、水路決壊の原因となっている。

④マサ土の場合は特に水食に対して弱いため水路の縦断勾配が急になる場合は水路横を水が流下しないよう留意する。

（土俵、張芝、止水板、張コンクリート）

5.　切土法面

（説明）

基盤造成に伴い生ずる地山切土部の法面保護工である。

（仕様規格）

①法面勾配……原則として1割

②法面仕上……機械荒仕上

③法面保護……必要に応じて種子吹付、張ネット等

④小　　段……切土高さおおむね5 m に一段　1～2 m 巾

山側に勾配を付け縦断勾配 $^{1}/_{100}$ 程度

（留意事項）

①法高さが高くなる場合は法面流下の雨水により法面が侵食されるため小段毎に法面外へ排水する。

6. 盛土法面

（説明）

盛土部の法面が、雨水その他の影響により崩解しないよう保護する。

（仕様規格）

①勾　　配……1.5 ～ 2 割

②法面仕上……ブル転圧整形

③法面保護……放牧草種の混播

④小　　段……盛土高さ 5 *m* 毎に一段（1 ～ 2 *m* 巾）

（留意事項）

①盛土材にマサ土を使用した場合、表層保護の目的で粘土層を張りつけた場合は、長期の降雨によりスライド崩解を生ずることが多い。

②法面流下の雨水は小段部で集めて排水する。この場合小段の縦断勾配は $^{1}/_{100}$ 程度とする。

③二つの法面が内側で接する場合は接線部が必ず侵食されるので張コンクリート等で保護する。

④特に必要のある場合は法面ネット柵工、わら芝等で保護する。

7. 盛法面ネット柵工

（説明）

盛土法長が長くなる場合は法面の侵食防止、滑落防止のためネット柵工等で法面の安全処理を行なう。

（仕様規格）

①設置の間隔……小段毎（小段ステップの山側に）

②ネット材……合成樹脂ネット（網目7㎜）

（留意事項）

①ここでいう盛土法面ネット柵工は、土砂の流出防止よりもむしろ法面の崩解防止、滑落防止にあるので、ネット部は地上部よりも地下にしっかり入るようにする。（$^{2}/_{3}$程度）

②ネット柵工を設置する場合、雨水はネット方向に流下する傾向にあるので留意する。

（両端部は必ず50㎝程度、上方に折り曲げて終ること。）

③ネット柵工に土砂が一ぱいに堆積した場合は、水はネットの上から溢流して、下流側の柵工基礎を侵食し、ネット崩解の原因となる。

8.　盛土法面湧水処理工

（説明）

マサ土の場合は透水係数が良いため、法面が長くなると雨水は法面に侵透し、下流側の法面に湧出して法面崩解の原因となっている。　　これを防止するため、法面表層に近い地下水を排除する目的で「法面湧水処理工」を設置する。

（仕様規格）

①設置基準……盛土高さおおむね10ｍ毎

②フィルター材……3号砕石、吸出防止マット等

③シート……土木安定シート

（留意事項）

①降雨後は相当量の水が流出するため小段の承水路等で排除しないと下流法面崩解の原因となる。

②小段の承水路は、法面から侵食された土砂により堰止められるので、ネット柵工等で防止する。

9.　盛土法尻工

（説明）

盛土高さが大きくなると、降雨が法尻部に湧出し法面崩解の原因となっている。　これを防止するため盛土法尻部にネット柵工、ふとん籠等を設置する。

（仕様規格）

①設置基準……盛土高さ5～10 m……ネット柵工

盛土高さ10 m以上……ふとん籠

（留意事項）

①地下水の浸潤線が法尻部に表われる場合に必要

10.　法面排水管

（説明）

集・排水路の先が法面等にかかる場合は急流工となるため、法高さが大きい場合は暗渠管により排水する。

（仕様規格）

①管　材……コンクリート管、ヒューム管、合成樹脂管

②基　礎……基礎コンクリート190°巻

10 m毎にストッパー（必要のある場合）

（留意事項）

①小口径の場合は、合成樹脂管が施工も早く単価も安いため有利であるが、急流工の場合は管内の水が脈流となって管を振動させるため、管の周辺の土が「コネ返し現象」によって抵抗力が無くなり破壊の原因となっているので管の固定に留意のこと。

②降雨後のみの流出で、水量の少ない場合は合成樹脂管を地上に設置し、鉄筋等で固定する方法は、安価で施工も早く、管埋設のため急傾斜地を掘削することがないため、これが原因となる法面侵食等もなく有利である。ただ合成樹脂管は、光線等による老化現象により恒久的な施設とならないため、草地の安定するまでの間の仮設的な場所に設置することが望ましい。

③急傾斜地の地山部を開削して管を伏設した場合は、埋戻後にその部分が表流水により侵食されるので、埋戻時の締固めを充分行なうと共に、必要のある場合は、柵工等により、侵食防止の手段を考慮する。

④盛土法面の施工に伴い法面内部の地山部に伏設する場合は、基盤切盛中の排水にも活用され、③の心配も少なくなる。

⑤管の末端は必ず面壁、その他の方法で固定しなければならない。　これを怠ったため、管の外側が侵食される例が非常に多い。

⑥土水路等の水を受けて管で法面を流す場合は、必ず管の受け

口をコンクリート等で保護すること。

11. 合流桝

（説明）

承水路と集水路の合流、管渠と開水路の接合ケ所等に設置する。

（仕様規格）

①材　料……コンクリート二次製品（既成桝、管）

現場打コンクリート

（留意事項）

①一般に合流桝には沈砂池的効果を期待しているが、流出土砂量が多く、雨水時のみ水の流れる場合は逆効果になる。流量の多い間に流出した土砂は、水量が少なくなると合流枠内に異常に堆砂し、合流桝閉鎖の原因となるので、桝の流出側水路底は必ず流入側より低くすると同時に、縦断勾配も急にして下流側水路に堆砂しないよう留意する。

②斜流を受けた合流桝は、急激な方向変換、合流等により、跳水現象、堰上現象を生ずるため留意する。

③合流桝内で乱流となった水は、桝の下流側水路内で跳水するので、下流側水路で整流となるまでの間は保護する必要がある。

12. 沈砂池

（説明）

草地造成後、草地の安定するまでの間は土砂の流出があるの

で、地区外に被害を与えないよう設置する防災工である。

（仕様規格）

①設置基準……「草地開発事業計画設計基準」による。

②構　　造……現地の地形条件、堆砂量によって区分する。

コンクリート堰堤、自存枠堤、

ふとん籠、掘削式、土俵式、等

（留意事項）

①ふとん籠で実施した場合、設置ケ所の河床勾配が急な場合は沈砂池を設置した事のため下流側河床が下ることが多いので流心部の根入れは充分行なうこと。この場合、床堀が過堀になっていると破壊の原因となるので留意する。

また設置ケ所の地山が、侵食に弱い土質の場合は、ふとん籠の基礎部が洗堀されるので土木シートで保護するなど洗堀防止等を講ずる必要がある。

②ふとん籠沈砂池の場合は余水吐が重要視されない傾向にあるが、百年確率の水量で計算された巾は確保する必要がある。またこの場合、余水吐の設置位置は、下流側の流心位置を考慮の上設置すること。

③コンクリート堰堤式の場合は角落し設置等により水位の調整可能とし、一旦滞砂したものを掘削搬出するようにすれば、地形条件で限定された場合は有利なことがある。

特に台風等により異常に流出土砂が出た場合に処理が良い。

④地形条件により沈砂池設置の有利な場所が得られない場合は

Ⅴ－2で述べた承水路に滞砂能力を与えることを検討するとよい。

Ⅵ　おわりに

以上は多賀区域において、昭和51年度から現在までに実施してきたマサ土地帯における防災工法について実施改良してきた要点を報告したものであるが、この5ケ年を反省して見ると、草地造成事業は、その事業の中に防災的な要素を多々包含しており、草地の特色を把握することは防災上非常に有効な手段であるという事が明らかになったことである。その主な特色を上げると次のとおりである。

1. 牧草は防災上、マルチ効果の秀れた材料であり、造成面のエロージョン防止には、牧草を早く定着させることが一番効果がある。
2. 堆肥等有機質肥料の施用は、土壌粒子の構造改善による草地面の侵食防止及び牧草の早期定着に非常に効果がある。

また、マサ土は防災上、特に厄介な土壌であり、造成計画に当っては、その特徴を充分理解し、設計に反映させることが必要である。現地条件によって応用範囲の多い草地造成工事では、単に与えられた図面により工事を実施するのみでなく、これらの原理を理解することが防災上必要と考えられた。マサ土は、図－1に見られるようにシルト質の非常に少ない土壌であり、その粒径も80％は0.1㎜から2.0㎜の間に集中しているため、

防災上次のような特色を有している。

(1) シルト分が少ないため、粘着力がなく、侵食に対する抵抗力が劣っている。

(2) 土粒構造的に非常に透水係数が良く、又その含水量が増大すると力学的性質が脆弱化し、法面の湧水、崩解の原因となるため長大な法面工では地下水の排除が必要である。

(3) 地山に放流する場合、水流が集中すると見掛上相当固いような所でも簡単に侵食されるので、できるだけ水を分散すること。

3. 改良山成工法による造成地では、一般に4度から12度の造成勾配を採用しているようであるが、その承水路については、草生水路等広巾の水路が水路底の洗掘防止、流出土砂の草地内保留、洪水調整機能等、有利な点が多いようである。

集・排水路は草地の造成勾配に合わせるため急流工となり、常流計算では断面決定が難しい。

最後に、これらの問題点を整理している段階で、今後の問題として取り上げられるべきものは次のようなものが考えられた。

1. 草地造成勾配に合わせるため必然的に急勾配の排水路となるため射流水路断面の決定方法の確立。

2. 1の条件に合った合流工の合理的な構造。（水理模型等による）

3. マサ土地帯における傾斜地に設置する暗渠排水管路の破壊の原因。（吸出し、管振動によりクイックサンド？）

4. 合成樹脂管の地上及び地中における耐久性。（日照、耐摩耗）

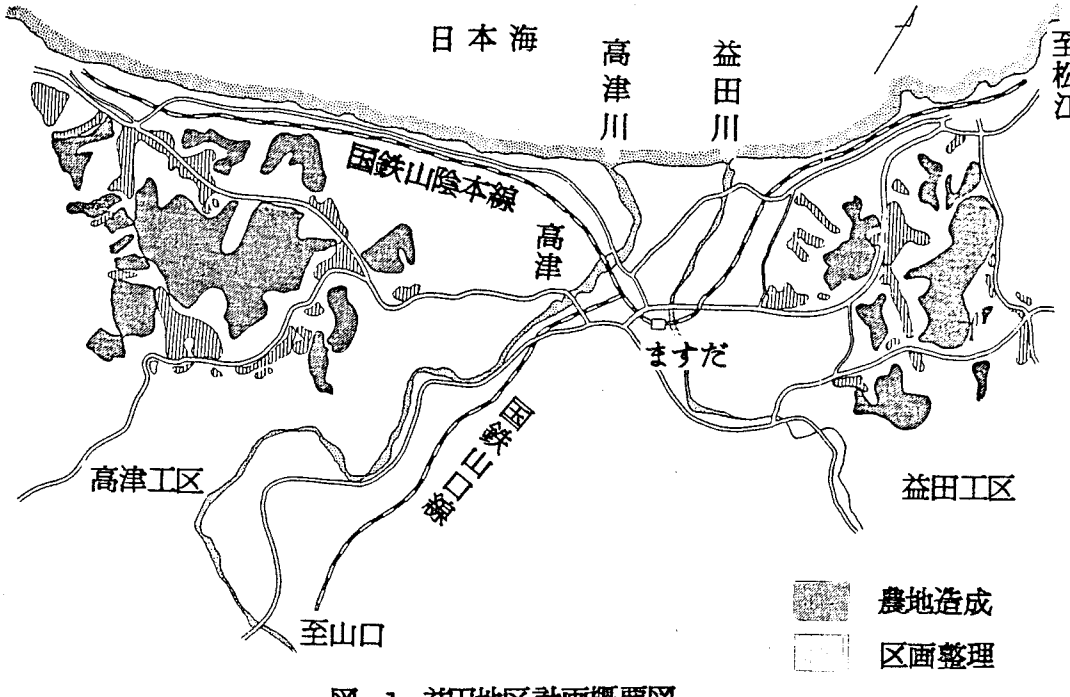
益田開拓の事業概要と防災対策

中国四国農政局
益田開拓建設事業所　　大串和紀

1．益田開拓建設事業の概要

本事業は、島根県の最西端に位置する益田市において、日本海に面した丘陵地帯916 haを開発して719 haの農地を造成するとともに、畑地かんがいを行い、ぶどう、野菜、タバコ、飼料作物等の作目を導入して、経営規模の拡大をはかり、併せて309 haの隣接既耕地の区画整理を行う国営総合農地開発事業である。

事業着工は、昭和49年度で、昭和56年度末までに232.9 haの農地造成と103.9 haの区画整理を完了しており、また併せて畑地かんがい施設の整備も鋭意進めている。



図－1　益田地区計画概要図

本稿は、本事業における農地造成工事の概要と、農地造成に伴う防災対策の概要をとりまとめたものである。

2．農地造成地の地形及び地質

本地区は、日本海に面した標高5～140 mの丘陵地にあり、一級河川高津川により工区が東西に二分されている。

西側の高津工区の地質は、都野津層相当の洪積層が主体をなし、東側の益田工区は新第三紀層が主体を占め、洪積層は新第三紀層をうすくおおっている。

土性は強粘質土壌が主体をなしているが、高津工区の一部には砂質土もみられる。

地形的には、なだらかな起伏の丘陵地帯であるが、小さな小ジワが多く、土地分類の傾斜区分では四級地（15°以上）が全体の81%を占め、その中でも20°～30°が全体の63%とかなり多く、小ジワの斜面は急傾斜のところが多い。

3．気象

本地区は、いわゆる裏日本気候に属するが、平均気温、降水量、無霜期間等については、瀬戸内型気象を呈しているといわれており、比較的温暖な農業適地となっている。

4．農地造成工法

本地区の造成工法は、当初計画では、山成工、改良山成工及び広幅テラス工（階段工）が考えられていたが、これまでの施工実績は全て改良山成工となっている。

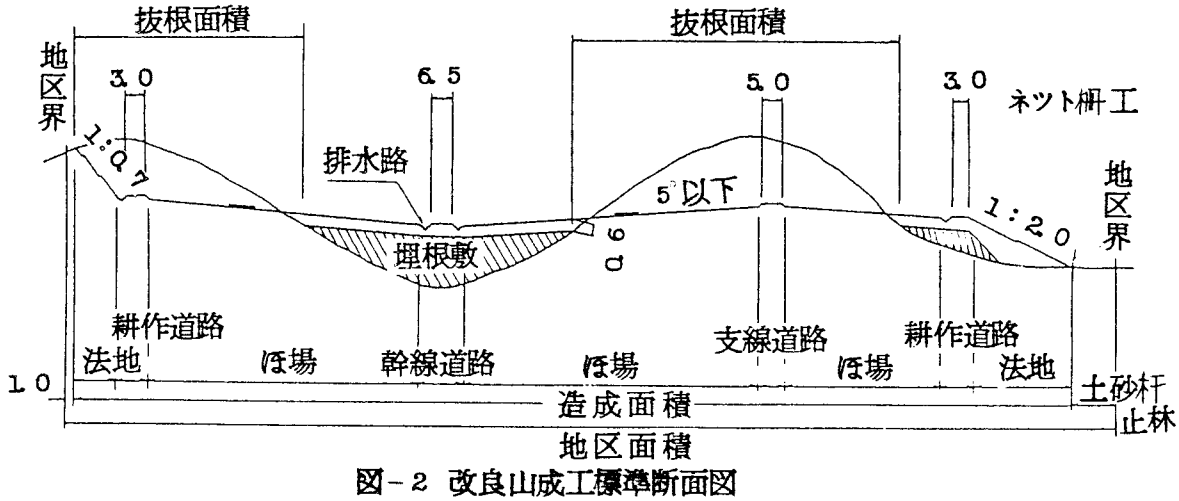
表－1 一般気象

観測所名	益田観測所	かんがい期（5月～9月）	非かんがい期（10月～4月）	計又は平均	備考
観測期間	昭和35～44年				
平均気温 (℃)		22.7	9.5	14.6	
降水量	平均 (mm)	929	754	1,683	
	基準年 (mm)	681	939	1,620	昭和42年
降水日数	平均 (日)	57	95	152	
	基準年 (日)	49	104	153	昭和42年
根雪期間		なし			
無霜期間		3月29日～11月27日	243日間		
最多風向		S.S.W.			
最大風速		15.5 m／sec			昭和34年4月4日

その理由としては、

① 現地形に小ジワが多く、かつ傾斜度が急であり、広幅テラス工等では造成効率が低くなる。

② また小ジワが多いことは、切盛土のバランス上都合が良く、部分的に山成工や階段工で施工するより、ある一定のまとまっ



図－2 改良山成工標準断面図

た範囲は改良山成工で施工した方が有利である。

③ 改良山成工は、圃場区画を大きく造成できるので、栽培管理上有利となる。また、大型営農機械の利用効率も大きくなる。といった点があげられ、今後も地形条件が許す限り改良山成工で施工していきたい。

なお、ほ場の造成勾配については、営農機械の作業性と土壌保全上の観点から、5°を目標として造成を行っている。

また、本地区の平均扱い土量は、20,000 m³/ha ～ 30,000 m³/ha となっている。

5. 防災対策の考え方

農地造成における防災対策としては、造成地の畑面保全、造成基盤（特に切盛土法面）の安定、排水対策、造成工事中及び造成後の土砂及び濁水の流出防止等に配慮することが肝要である。

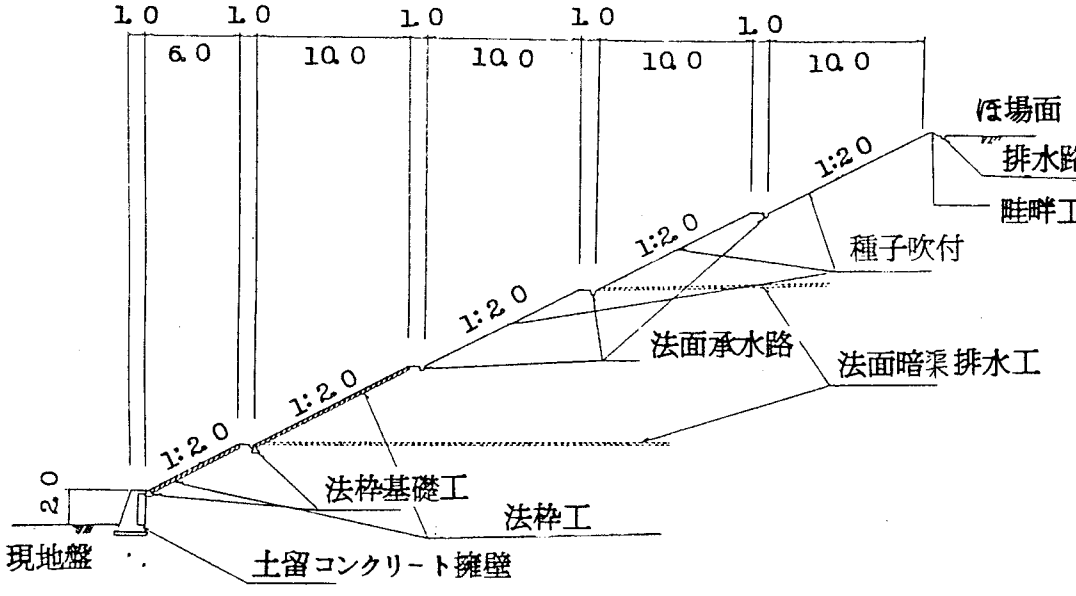
本稿では、このうち本事業における盛土法面の安定対策と、排水計画及び土砂流出防止対策の概要について報告する。

6. 盛土法面の安定と法面保護

改良山成工では、長大な盛土法ができることが多く、本地区においても、20～30 m程度の高盛土も多い。

盛土法面の崩壊は、地区内の農地の災害に止まらず、下流にも災害を引き起すおそれのあることから、特に入念な注意が必要である。

本地区では図－3のような盛土断面を標準としており、



図－3 盛土法面標準断面図

① 盛土法面勾配は1：2.0とする。

② 小段は、法尻から5.0m毎に設置し、幅は1.0mとする。

③ 小段には$\frac{1}{50}$の勾配をつけ、法面承水路（コンクリート二次製品）を設けて、法面排水を下段に集積させない。

④ 盛土内部の地下水を早急に排除して間隙水圧の上昇を防ぐため盛土法肩から2段目ごとに法面暗渠排水工（間隔は、12.0mで長さは円弧すべり面外まで）を設ける。

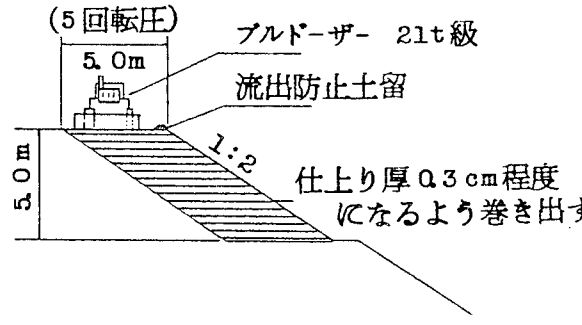
⑤ 盛土法尻の保護工として、盛土高15.0m以上については、土留コンクリート擁壁を、それ以下はネット柵工を設ける。

⑥ 法面保護として、土質条件に応じて種子吹付又は張芝等の植生を行なう。さらに、盛土天端から12.5m以下の法面については、コンクリート法枠工を設け法面の安定を図る。

⑦ 盛土部の施工にあたっては、ブルドーザーにより充分な転圧を行う。

などの対策を講じている。

なお、盛土高15.0m以上については、安定計算を行い、法勾配、小段幅について安全性をチェックしている。



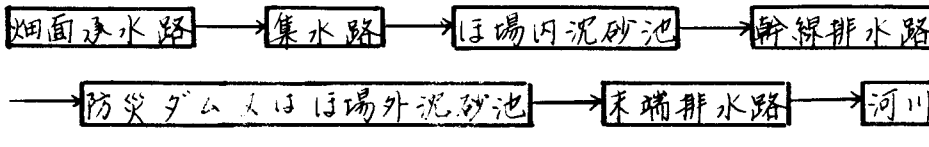
図－4 盛土部締固め

また、盛土内部の地下水を、地山と盛土の境界部に停滞させないで、早く地区外に排出し、間隙水圧を上昇させないよう、基盤切盛に先立ち、盛土高1m以上の谷部には暗渠排水を設けている。

7、排水計画と土砂流出防止工

農地造成地における排水路は、防災の基本施設であるので、その配置、規模、構造等については、充分安全性を検討した上で決定することが必要である。

本地区における基本的な排水路網の構成は、次のようになっている。



ア、畑面承水路

承水路は、主として畑面のエロージョン防止を目的としており、原則として、樹園地に設けている。

承水路は、各ほ場において、ほぼ等高線方向に配置し、ほ場内の流出水を集水路に導くよう計画している。その設置間隔は20m、勾配は概ね$\frac{1}{40}$の土水路としている。

イ、集水路

集水路は、ほ場を分断することのないように、ほ場界、道路沿いに計画し、その下流端は、原則として沈砂池に接続させることにしている。また、承水路及びほ場勾配を検討し、原則として勾配$\frac{1}{100}$以上で、設計流速4.5m/s以下となるようにしている。

設計洪水量の算定は、ラショナル式により行っており、確率年は$\frac{1}{10}$としている。さらに、土砂、草木等による流水阻害を考慮して、安全のため1.5倍した値を設計流量としている。このため、設計上、水路の余裕高は見込んでいない。

構造は、原則として鉄筋コンクリートU型（JIS A 5305）600以下とし、最小断面は300Aとしている。

ウ、ほ場内沈砂池

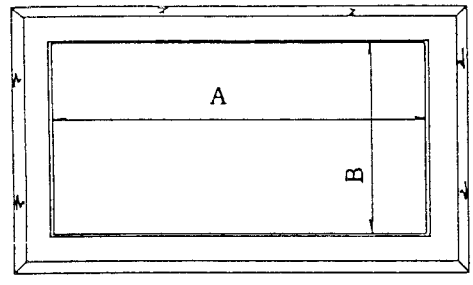
原則として、各ほ場に1ヶ所、ほ場内沈砂池を設け、ほ場内からの流出土砂を堆積させることにしている。

この沈砂池の容量は、基盤造成直後及び造成後3ヶ年間の計画推砂量をもとに決定している。

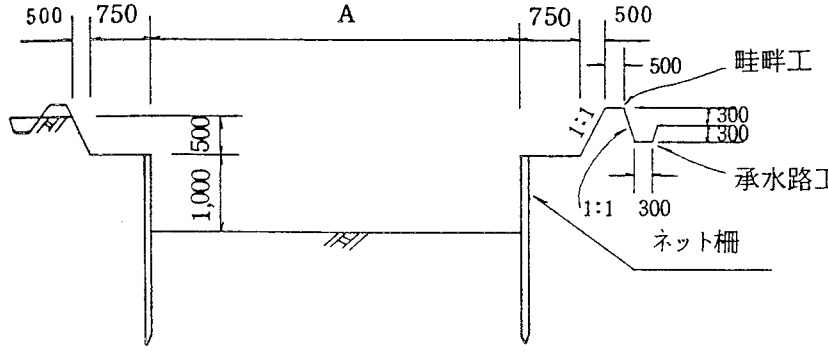
基盤造成直後	300 m³/ha/年 × $\frac{1}{12}$ × 4ヶ月	= 100 m³/ha
造成後	15 m³/ha/年 × 3年	= 45 m³/ha
	計	= 145 m³/ha

なお、この沈砂池は、造成勾配、作目、立地条件等により、一概に期間を設定することはできないが、沈砂池が不要になった時点でほ場にすることができるので、造成効率についてもメリットがある。

沈砂池の標準図は図－5のとおりであるが、盛土上部に設ける場合には、沈砂池からの地下水浸透により盛土部分が崩壊するのを避けるため、防水シート張によって施工している。



型式	A	B
Ⅰ	10.0m	5.0m
Ⅱ	15.0	5.0
Ⅲ	20.0	5.0
Ⅵ	10.0	10.0
Ⅴ	15.0	10.0
Ⅳ	15.0	15.0
Ⅶ	20.0	15.0
Ⅷ	20.0	20.0



図－5 ほ場内沈砂池標準図

（参考）山口大学農地造成学研究室へ委託した土砂流出調査の報告書によれば、55年度の作物区別土砂流出量は次のとおりであった。

牧草区　10 m³/ha/年　，　タバコ栽培区　41.2 m³/ha/年　，　ぶどう栽培区　2.0 m³/ha/年　，　裸地区　69.4 m³/ha/年

エ、幹線排水路

設計洪水量の算定は、集水路の場合と同様である。

幹線水路の構造は、主として現場打ちコンクリートとし、農水省構改局制定の標準設計によっている。

オ、防災ダム及びほ場外沈砂池

農地造成中の土砂流出や、造成完了後、ほ場内沈砂池で流出土砂を処理できなかった場合には、下流に多大な被害を及ぼすことになり危険が伴うため、造成区域の外に防災ダム又は沈砂池を設けている。

その設置基準等は表－2のとおりである。

表－2 防災ダム又はほ場外沈砂池の考え方

区　分	適　用　基　準	構　造	堆　砂　量
防災ダム	① 全流域のうち造成対象面積が概ね10 *ha*以上の場合 ② 下流に人家等があり，土砂流出により社会的被害が大きいと判断されること ③ ダム建設適地であること	重力式コンクリートダム	V＝300 m³／*ha*／年×工事期間(月)×1／12×造成対象面積(*ha*) (法令等により特別な指定がある場合は除く)
ほ場外沈砂池	上記以外の場合	堀込み沈砂池又は土堰堤併用	

ほ場外沈砂池には、土堰堤を設ける場合と堀込式で設置する場合がある。この選択は、現地の地形条件により決定することとしているが、できるだけ堀込式とするようにしている。

堆砂量の決定に当っては、工事施工中には造成池内に仮設沈砂池を設けて土砂流出を防止する計画としているため、大量の土砂が流出するものとは考えられないが、工事中及び将来において土砂の流出が全くないものと考えるのは危険であり、加えて、法面崩壊等で一気に土砂の流出する危険性もあるので、表－2に掲げる算式により決定している。

なお、ダム及びほ場外沈砂池の堆砂容量は、余水吐越流部天端までを堆砂高として算定している。

設計洪水量の算定はラショナル式で行っており、また設計日雨量は表－3による。またほ場外沈砂池のうちH≧1.5mのものについては安全率を考慮し、算定流量に1.2倍を乗じた流量を設計流量としている。

表－3　設計洪水量算出に用いる日雨量

ダム水通し断面決定……	１００年確立
ダム水抜孔断面決定……	5　年確立
ダム仮設関係……	3　年確立
ホ場外沈砂池（土堰堤のうちH≧1.5mのもの）	１００年確立
〃　（掘込式及び土堰堤でH＜1.5mのもの）	１０　年確立

カ、末端排水路

改良山成工で土工設計を行うと、現地形を全く変えてしまうこ

とから、計画前後で排水系統が変わることがある。しかしながら、現況の排水は下流水田の用水源として利用されていることもあり、また洪水時に流域を変えることにより下流に被害を起すことがないよう、原則として排水系統を変えないで設計を行っている。

したがって、末端排水路については、現況の施設を利用することを原則としている。しかし、地区外下流に民家等の重要施設がある場合には、防災上必要な最少限の範囲まで改修を行っている。

8、工事施工中の防災対策

施工中の防災対策として、施工の各段階で、次のように実施している。

ア、防災ダム又はほ場外沈砂池の設置

施工に先立ち、前節で述べた防災ダム又はほ場外沈砂池を設置し、然る後に本工事に着手するようにしている。（指定仮設）

イ、沈砂ため池の設置

造成地区内の最下流端付近に適地を選定し、基盤切盛開始前に土堰堤を施工し、地区外への土砂及び濁水の流出防止を行っている。（任意仮設）

この沈砂ため池は、基盤造成の最後まで機能するように計画し、土堰堤の大きさは、過去の降雨実績や推砂量等を充分考慮して決定する。

ため池の余水吐についても、充分な安全を見込んで計画し、土堰堤の両側にある現地山内に設置して、地山面の立粗朶等を通過

（泥土の口過作用）させ、流下させることとしている。

なお、この沈砂ため池は、最後には埋めて造成地として仕上げている。

ウ．施工法による沈砂池の設置

土砂流出防止の面からみて、施工範囲を、全面一度に切盛することは非常に危険であるので、切盛計画を基に、いくつかの施工ブロックに分け、小範囲に行うことと原則としている。

従って、本格的切盛の開始に先立ち、この施工ブロック毎に、ブロックの下流側を先行して盛土施工しておけば、自然と水たまりが出来る。この水たまりを沈砂池として利用する。このことは、造成地区内に数段の沈砂池を設置することになり、先に設置した防災ダム、沈砂ため池等の効果とあいまって、施工中の土砂流出防止に役立つ。

なお、各施工ブロックの施工は、順次、上流側より行い、各ブロック毎に短期間で仕上げることが必要である。

さらに、各施工段階で、谷部に高さ1m程度の仮締切を施工することも有効である。これも基盤切盛の一部に相当し、工事の進捗に合せて埋戻し、設置を反復施工すれば効果が大きい。

9．おわりに

以上、益田地区の防災対策の概要について述べたが、今後とも各方面からの御指導をいただき、防災対策についてさらに万全を期していきたい。

参考文献

1．西沢彰一：農地造成における土工計画、農業土木会材料施工研究部会報（昭和57年2月）

2．森田昌史他：益田開拓建設事業，農業土木の機械化（第13巻第1号）

3．山口大学農学部農地整備造成学研究室：昭和56年度土砂流出調査報告書　国営益田開拓建設事業地区（昭和57年3月）

農地保全研究部会　第3回研究集会資料

農地保全の研究　第3号

昭和57年7月22日

編　集・発行者　　農業土木学会農地保全研究部会

〒753　　山口市吉田1677－1

山口大学農学部農地整備造成学研究室

TEL　0839－22－6111（422・428）