

資 料

農業土木より見た土壤侵蝕の諸問題

金子 良

(農業土木試験場)

はしがき

土壤侵蝕に関しては各方面で多くの研究が進められている。このうち農業土木の対象とする研究内容は土壤侵蝕を広い意味に考えて、土地保全、水保全、これに必要な工法、および傾斜地の生産性向上などに役立つ工事を含んでいる。

例えば土壤侵蝕の基礎資料を得るため行われる枠試験についても、その結果を工事に結びつけるためには、従来の枠試験成績を比較検討してマクロの傾向を知ることが要求される。また土地保全をはかるためには土壤の性質ばかりでなく、地層全体の耐蝕性とか侵蝕の機構などを究明する必要がある。

侵蝕は面状に進行するものより、ガリー侵蝕、流水、河川による侵蝕、崩壊、地すべりなどが工事の対象としてさし迫っているので、ある流域(少くとも数ha以上)における流域条件、降雨条件と流出との関係を求めるための流出試験を行うことが要求される。また流域の浸透との関係を調べて流出機構を明らかにするための浸透能試験が重要となる。場合によってはかなり広い面積で人工降雨試験を行い水みちを発生させて降雨、流出、土壤流亡関係を知ることすらやらずにはならない。

土壤侵蝕が問題となる傾斜地で水保全をはかることは、その土地自身のためばかりでなく下流地帯の水源涵養にも貢献する。なお傾斜地は乾燥しやすく果樹園などのかんがい効果も大きいので、傾斜地のかんがい工法が重要となってきた。

傾斜地の保全工事あるいは生産性向上の根幹となる道路については経験も少く、傾斜地特有の諸条件に適応した工事がなされているかどうか問題があるので、各地の事例を比較検討することが実際面には大いに役立つ。

以上のような目的でわれわれが調査研究したところを要約して紹介する。

I 枠試験結果の比較検討

各地の土壤侵蝕枠試験結果は非常に数多くなってきた。これらを比較検討したところ次のような共通の傾向を知り得た。

年間流亡土は試験枠の傾斜、斜面長よりも地被状態に多く影響され、流亡土平均深は仮比重を1と仮定した場合、度数(頻度)分布のもつとも多かつたところは、裸地2.0~2.5mm、清耕果樹園1.0~2.0mm、普通畑、桑園0.1~0.5mm、草地、しきわら地0.1mm以下となつた。

年間流出水量の降水量に対する比、すなわち枠内流出率は、流亡土量が地被状態に左右されるほど鋭敏に現われないので、主として降水量に強く影響される。ここで著しい特徴は火山灰土の流出率が小さいことで、大部分の試験成績は5%以下になつている。

平均深1mmの土壤を流亡させるには大体20~100mmの水深を必要とするが、火山灰土は少い水で多量の土を流亡される。埴質の耐蝕性土壤は水量のわりに流亡土が少い。

一降雨との関係を見ると、花崗岩土壤では地面が粗粒で固結しているため、ある程度の降雨までは流出水も流亡土も少いが、これを越すと地表固結被覆が崩れて流亡土が急に多くなる。花崗岩土でもそうであるが火山灰土の場合には特に乾燥時の強雨による流亡が大きい。耐蝕性の埴質土はこのような乾湿

変化に対して比較的安定している。

II 広地域の侵蝕量と侵蝕型

広い地域の侵蝕量は現地調査で測定する方法のほか、河床変化、ダムの堆砂量、流出水量と含砂量で推定することができる。ただし斜面を移行しつつあるものは不明である。表土層の厚さ測定から侵蝕、堆積の累加量を求めることは周知の通りである。

多数のダム堆砂量から年間平均流域侵蝕量を求めたところ、大部分は0.01~1.0mmの間でもつとも度数の多いものは0.01~0.1mm程度であった。これは林地の平均を示すものと見てよく、地被良好な畑地、および草地の侵蝕量ともほぼ一致する。

流域に崩壊のあつた場合などはこの100年分以上が侵蝕されることになる。また流域が侵蝕されやすい花崗岩地帯で段畑の多い溜池の流域堆砂量を調べた値では年間0.8mmなどの例がある。

河川の流出量と含砂量から求めたものでは鳥取県の流出試験地（流域に傾斜畑が多い）で0.04mmという値を得た。

傾斜地の管理不良な道路はもつとも侵蝕低下しやすい。火山山麓では年間10cmも低下して道路がガリーになり、また別に道路を平行させているのをよく見る。低下した道路から樹枝状に発達する水みちは次第に拡大して、浸透性の大きい火山山麓でも全面的に土壌を流亡させることになる。シラス台地の坂道なども道路侵蝕が台地破壊の原因ともなっている。

地表から浸透した水が不浸透性の下層、火山地帯の盤層、山腹岩盤などに達すると、その上の土層が飽和に近くなり、浮上りまたは滑落などによつて局部的に全土層を失うことがある。段畑地帯ではのり面の途中から土層中の水が湧出し、しばしばその上から滑落する。

このような水は中間流出の給源をなすもので、中間流出の最大限度と土層滑落とは関係が深い。

シラス台地では崖下の湧水による谷頭侵蝕が激しいが、ローム台地でも観察され、流水による台地面の樹枝状侵蝕谷と明らかに区別される。

なお豪雨時の一時的湧水が崖の中途に露出する不透水性部分の上に現われると、ここに穴をあけシラス台地の崖から離れたところと通じて陥没を生じることもある。

台地や火山山麓のように比較的緩傾斜の面に急な谷壁が接する場合は、落下する水による縁辺、落下点の崩壊という土地の破壊を生じる。シラス台地はその極端な例である。

未固結の土層、軟岩などは集中した水による侵蝕に対して脆弱であり、河岸の欠潰、洗掘、深いガリ一侵蝕を生じやすい。砂質で地味不良の場合には植生被覆が不十分のため、侵蝕の進行が速く、ときにバッドランド状を呈するところも見られる。

崖錐や斜面途中の厚い土砂、岩屑まじり層が豪雨で多量の水を含むと、大規模の土石流を生じて、これがさらに下流沿岸を欠潰させる。人為的に不完全な盛土、例えば宅地造成などを行った場合には、人家に近いので土砂崩れの被害が大きい。

広範囲にわたる厚い層の移動は地すべりであつて、これは馬蹄形の崖とその下方に押し出した舌状の堆積が特徴である。

以上のような土地の破壊的侵蝕は表土の流亡を主として対象とする土壌侵蝕よりは内容が広い。農業土木で問題とする侵蝕防止は土地を対象とするものであるから、試験研究としてはまとまった水による侵蝕と流出機構に関するものがきわめて重要となる。

Ⅲ 流出試験

われわれは流域面積10～100 ha内外の畑を主とする9地区と、300 ha余の林地流域について数年間以上の流出資料を得、流域の保留効果に重点をおいて流出機構を調べた。

流出現象を説明するため、表面流出、中間流出をまず分離して、それぞれが表面貯溜、土層超過保留地下水貯溜に関係が深いことを確かめた。これらの保留量は刻々の累加量から累加流出量を差し引いた保留量曲線を分析することによつて得られた。特に中間流出曲線は保留量曲線より表面貯溜による急変化部を除いた形によく似るので、この性質を利用して中間流出と表面流出とを分離するのに役立てた。

各流域ごとに初期損失後の雨量と、表面流出量または中間流出量との関係を求めると、それぞれ特徴のある曲線が画かれる。これより例えば連続降雨中の任意の毎時降雨に対する表面流出総量が推定される。

毎時有効雨量がどのようにおくれで配分され、かつ降雨が連続するにしたいが、いかに合成されて表面流出となるかを単位図法によつて検討した。

この場合中小出水では降雨強度が増大するにしたいが、地表流出する場所が拡がるから、流出の抵抗を生じ、流出強度 Q と貯溜量 S との間にはほぼ $Q=K \cdot S$ (K は定数)が成立した。これは単位図法の適用に有利であり、実際にも計算と実測流量から分離した表面流出とはかなりよく一致した。

流出に影響する流域条件は地形、地質、土性、流路形態、地被などであり、地形はさらに形状係数、本流長、山腹長、本支流傾斜、山腹傾斜などの要素に分けられる。これらを総合して点数で示すと、ある程度流域条件を数量的に表わすことができる。

小流域における単位図の流量配分率は山腹長、傾斜、流路、水みち状態、凹凸による流出の抵抗、貯溜性などによつて決定され、流出時間8～11時間、ピーク時配分率は0.20～0.40を標準とする。火山灰被覆の流域およびおだやかな丘陵はこれが0.20～0.30で、ピークが第2時間にくるのに対し、急傾斜段畑流域はピークが第1時間で配分率0.30～0.40となる。

流出ピークは侵蝕防止工事もつとも必要な数値であるが、これは流量配分率、毎時有効雨量(毎時流出率)、その複合によつて左右されるものである。しかし実用上の標準を知るための便法としてピーク1時間降雨に対するピーク1時間流出強度の比率を多数の実例から求めてみると、数年間の観測期間内においては、急な流域で0.40～0.45、おだやかな流域で0.10～0.20となり、一般に考えられているより小さい値となつた。

Ⅳ 浸透試験

流出を求めするために浸透を調べる方法がある。ただ浸透試験は流出試験のように総合された値として求められず、流域のうちの特定な地点だけが実測される。できるだけ面積をあげここに人工降雨(散水による)で各種の降雨条件を与えながら、浸透、流出、土壌流亡の時間的關係を調べる方法もある。

関東ロームの被覆する地帯各所で行つた浸透能試験などについては本誌4号で説明した。

自然流域で地表全面的に水膜を生じるほどの流出を生じることはいまだである。(ただ埼玉県荒川北岸台地でカスリン台風、狩野川台風時に地下水位上昇に伴う土層飽和で全面的な地表流出を観察した例はある。)浸透能試験からは過去のどんな雨でも流出を生じないような結果がでる。しかし実際には水みち流出があるため小さい降雨強度でも流出を生じる。このように流域の浸透能は一様でないので浸透法によつて流出を求めることは容易でない。火山灰土のように浸透性の膨軟地と不浸透性の水みちが極端に

差がある場合にやつと、それぞれの面積率を考慮して近似計算ができる程度である。

宮崎県シラス台地流域で測定された流出資料からは次のような傾向がわかった。実測流量から逆算された浸透度 F は(浸透能ではない)、降雨強度 R の増大とともに増大し、 α を1より小さい定数とするとはば $F=R^\alpha$ の関係が成立した。また $Q_s = K \cdot S^M$ における M の値は1に近い。ここに Q_s : 表面流出強度、 S : 表面貯溜、 K, M : 定数、これは S が増大するにしたがい道路などの抵抗の少ない水みちから抵抗の多い畑地面へ地表流出が拡がるからである。

従来考えられていたように降雨と流出から流域の浸透能を求めたり、流域固有の浸透能曲線から流出を求めるのは、大洪水の場合を除き困難なことである。

富士山麓の人工降雨による流出試験(長さ40m、巾10mのもの2区画、降雨強度70mm/hvまで)では、火山灰土が大きな浸透能力をもつのに、集中した水に対する抵抗が弱く水みち侵蝕が生長しやすいこと、踏みつけ地の浸透が特に小さいこと、一つの畦が欠潰すると上からの水勢で次々に下の畦が欠潰しやすいこと、微粒子の沈澱しやすいテラス部分にかえって地表流出を生じて下部の侵蝕を助長する危険があること。乾燥したところへ強雨があると土壌流亡が著しく多くなること、降雨の継続に伴う土壌流亡の時間的変化は、まずピークが現われ以後やや低下してゆくが地表流出強度が漸増する場合は再び流亡度も上昇すること、降雨強度が大きくとその時間が長くなると作付地も裸地も地表流出の差が次第になくなることなどを数量的に知ることができた。(4号参照)

V 傾斜地の性質と保全工事

保全工事は傾斜地の性質に対応させる必要がある。よつて傾斜地の性質を地形区分によつて検討することとする。

(1) 洪積台地、河岸段丘

洪積台地は関東ローム台地、東海地方などの非火山灰台地、北海道の火山灰台地、南九州のシラス台地などがその代表的なものである。

火山灰の被覆する台地は水みちの発達特に崖端に近い台地面の道路侵蝕が問題である。道路側溝を整備しなるべく路面の低下しないようにする。道路と連絡する畑地間踏跡は芝や密生植物で階段的に床どめしてそれ自身の低下を防ぐとともに、道路へ落ちる水をなるべく少くすることが必要である。畑区画周縁はしばしば斜面をなして侵蝕されやすいのでわらや密生植物で保護することが望ましい。火山灰土の下に砂礫層があつて地下水が深いときは、ここへ地表水を吸いとませる浸透溝または井戸を掘ることも考えられる。

台地に残る平地林は開墾と出水、水源涵養の問題でしばしば紛争の原因となつた。しかし畑地は裸地状態で強雨にたたかれない限り浸透能力が大きいこと、浸透不良の水みち部分は畑地帯の標準面積率で10%内外に過ぎないから、開墾の影響は判断される。これに対し大面積の宅地開墾が行われると全面的に浸透度が低下することを注意すべきである。

非火山灰の台地はやや不浸透性であつて、地味不良で植生地被の貧弱な場合が多く地表流出と土壌流亡が大きい。ここでは保全工事以上に地力増大の努力が重要である。

シラス台地は谷の縁辺保護のため、一定巾耕作を禁止して植生で保護し、防水堤、承水路を設ける。台地面の排水系統を整理して安全なところから谷へ落とす。崖脚は地下水を集水排除し、湧水で崩れなような階段工を設ける。また谷底には砂防堰堤を重ね、谷底の地下水位低下のために排水したり、流

水が崖脚を洗わないように改修する。崩壊した斜面は安定した角度の法切りを行い植生被覆と排水につとめる。シラス台地の坂道はもつとも侵蝕されやすく、崩壊の原因ともなるので、路面の固定、側溝の水処理、道路沿い谷壁の安定には十分の注意を要する。なおこの道路を車の通行に便利のように整備することはシラス台地利用の根幹をなすものである。

シラス台地は昔から草で固定された畦畔で区画され、流出水の浸透、土壌流亡の防止に役立っていた。この畦畔に芝などで固めた余水吐を計画することにより、豪雨時の流出を激化しないようにすることが望ましい。またこれは台地面の間断かんがい、田畑輪換にも通じるもので畦畔の活用は検討に値する。

河岸段丘は比高数mから数十mに達し、幾段にもわたっているものがある。一般に段丘面は支流によって刻まれ、本支流の谷縁辺は脆弱である。谷の侵蝕防止のためには落差工を必要とし、段丘面からの落ち口の保護、段丘面の排水系統整理、縁辺の承水路などはシラス台地の場合と同様である。

(2) 火山山麓

火山山麓の道路侵蝕は前述の通り激しいものであり、これを防止するためには畑の境界などから道路へ流出水の落ちる前に浸透処理することが望ましく、また承水路を兼ねた浸透溝を掘るとか安全な承水路を固定した谷または堅固な排水路に連絡させることが必要である。道路に集った水はあまり流下しないうちに排水路、浸透溝へ導いて谷へ落とす。路面の低下に対しては車の通行に支障ないようにとどこで床固めを行う。

富士山麓の富士アサのように盤層が上の土層の侵蝕原因をなす場合は、これを火薬で破碎するとか、レーキドーザーなどで破碎除去する。

(3) 丘陵

丘陵では不完全な宅地造成によって災害をおこし、近頃各所で問題となつている。浸透性、水を含んだときの危険性、宅地からの流出量などについて関係者の正確な知識を必要とする。

名古屋東北部から知多半島へかけての丘陵は古くから農耕地として利用されているもののほかは貧弱な松林、荒地を主としている。これを開墾する場合地味不良で作物地被による安定に時間を要し、その間の豪雨で崩れる心配が多い。新墾地は特に保全工事に注意しまた地力増大に努めなければならない。

凝灰岩、礫岩、安山岩などの丘陵は、一般に風化土の地味もよく耐蝕性である。ただ表土が薄くしばしば不浸透性で流出水が多いことが欠点となる。保全工事および段畑構築に石塊を使用できることは有利であるが、傾斜地の高度利用のためにはコンクリートを十分に使用して車の通れる道路、排水路、承水路、土砂溜、水槽などを計画的に配置しなければならない。

北海道の波状丘陵地は畑区画が等高線に関係なくて大きい上、道路が不完全であり、しばしば畑地内に土シリを入れるので侵蝕を助長している。ここでは等高線耕作に適合した畑区画、テラス設置、車の通る道路が、水路などのコンクリート建造物のほかに重要である。

(4) 地すべり地

山間で土地利用上重要なところは地すべり地である。地すべりをおこすような岩は比較的肥料分に富み、また地すべりによって土層が厚くなり更新され耕作に適する緩斜面が形成されるからである。地すべりを助長するのは地すべり地頭部の崖下、凹地の湧水およびこの付近から浸みこむ水である。特に地すべりの原因として水田浸透水はあまり関係ない。地すべりを完全に防止することは困難であるが、その被害を軽減する努力は続けられている。例えば侵蝕されやすい谷底を固定する。地表の水特に崖下付

近の水は排水路や暗渠で早く流す。すべり面付近の水を横孔ボーリングで抜くことなどが行われる。なお水田は粘質のため干害で深い亀裂を生じると漏水して地すべりを助長する危険があり、用水の少ない棚田地帯で水源地を確保することも容易でない。このため地すべり地帯には横井戸と小溜池が多く造られ、横孔で抜いた深い地下水は水田用水としても貴重である。

(5) 沿海急傾斜地

瀬戸内から南予などの沿海急傾斜地には段畑がよくつくられている。南予方面は花崗岩ではないが急傾斜で雨が多く市場に遠いという問題があり、瀬戸内は主として侵蝕されやすい花崗岩で、乾燥被害とまた強雨による土砂崩れの害を受ける欠点がある。

段畑地帯の保全工事は農道、索道、承水路、排水路、土砂溜、貯水槽などであるが、ここでは土地がせまく潰地をできるだけ少なくすることが特に要求される。しかし車の通る農道は今後の傾斜地利用上もつとも重要なものであり、農道を広く堅固にすることと潰地を少なくすることを両立させるため路面全部を排水路兼用にすることが各所で成功している。なお急な排水路は階段式にして通行の便をはかることも行われる。

排水路、承水路に崩壊した土砂が流入して途中で通水を阻害すると、計画水量を流すことができず、溢水して侵蝕被害を増大させる。故に斜面全体の保全を考えなければ土木工事は成功しない。小さい水路は草生として、それ自身の侵蝕低下を防止するとともに流下中の浸透をはかること、従来の裸地のり面を草地にすること、のり下には小溝(よけ)を掘つてのり面から流下する水が下段を洗わないようにすること、コンクリート水路は周辺の地形を考えて流入水の受け口を整備し、コンクリート水路外壁に沿った洗掘を生じないようにすることが大切である。侵蝕防止を目的とする熟練した農法はもちろん結構であるが、将来過重労働を伴う農法は期待できないから、できるだけ省力的に誰でもやれる傾斜地農法が確立されなければならず、このために道路を中心とする土木工事はますます重要となるであろう。

Ⅶ 傾斜地における水利用と水保全

乾燥しやすい傾斜地でいかに水源を得てかんがいするかは、果樹栽培などにとって重要なことである。また火山山麓や台地、扇状地など高位部地帯で水の浸透をはかり侵蝕防止を兼ねて水保全を行うこと、あるいは水資源の余裕のある時期にかんがいて地下貯溜をはかり、下流地帯の流量を調節することなど、土壌保全に関連した問題であるが、紙数の関係で省略する。