

関東ローム地域における浸透と侵食について

金子 良

農技研農業土木部

1. 関東ローム地域における侵食の特性

関東ローム地帯の侵食は風食と水食および霜崩れという全く異質なものがあり、ともに軽視できない問題であるが、ここでは水食について述べることにする。

土壌侵食試験を小さい枠のなかで観察することも必要であるが、関東ロームの分布する自然流域においてどのような侵食が行われているかを調査し、広い面積を対象とした侵食の機構を究明することは、侵食防止の実際の対策をたてる上に欠くことはできない。

関東ロームの被覆するところは、いわゆる関東ローム台地とその給源となつた火山、あまり急でない丘陵、山地である。ここでは主として農地の侵食を対象とするので、緩傾斜な火山山麓またはほとんど平坦でその縁辺が急な台地の侵食について述べる。なお侵食は単に表層土粒子の流亡だけでなく、深く侵食されて土地の破壊にまで及ぶものも考えることにする。

関東ローム台地面はゆるやかな波状起伏をなしているが、沖積面との比高が数 m ～数十 m あるのが普通で、その縁辺は 15° ～ 20° 内外の斜面となつている。なお台地面には宙水の現われる凹地や浅い侵食谷、火山灰堆積当時の風による不規則な起伏の見られるところもある。このような部分的傾斜のほか台地がかつての古扇状地であると全体として $\frac{1}{200}$ とか $\frac{1}{400}$ という一定方向の長い緩斜面をなす場合が多い。

円錐火山の山麓は傾斜 3° ～ 10° 内外の広大な裾野が開けており、新しい火山は火山灰や火山砂礫の厚く堆積した原表面が残されている。やや古い火山は放射状の谷ができて、谷の縁辺までは広い原表面そのままであるが、急に谷壁が急斜面となるもの、原表面は放射状の尾根付近だけになり谷底が広く河原をつくるものなど新しいものに比し複雑な地形を形成する。

関東ロームの表層は腐植の多い黒土で団粒構造が発達し、降雨の浸透は非常に良好である。したがって植生地被のあるところ、膨軟に耕耘されたところにはほとんど地表流出を生じない。ただ一部小面積にやや不浸透性の水みちが現れ、ここに流出を生じる。常時地表水を見ないので出水があると非常に大きく感じるが、流出率そのものはあまり大きくない。

火山山麓は一般に関東ローム台地より土壌粒子が粗で、浸透性が大きいとともに流出水があると侵食に対する抵抗が弱くガリーを生じ易い。火山山麓の放射状道路はもつとも侵食低下し易い水みちであつて、ここが下刻されると枝分かれした水みちが発達し、土地が毛細管的に刻まれていく。道路が侵食され易いのは、流路がなめらかな上、直線状で水の流速が大となり、路面は踏みつけや、流水によつて不浸透性被膜を生じているからである。火山山麓では道路が低下して通行しにくくなると、すぐ別の位置に車を入れて新しい道路にするので、道路を原因としたガリーが何本もできる。なお広い火山原表面と急な谷があるとき、原表面の道路に生じた地表水を谷へ落とす地点が重要で、その落ち口がシラス台地の谷頭のように侵食されるおそれがある。

関東ローム地帯の侵食は下層土またはその下の深い層まで関係する。一般に黒土の下層土である赤土

は浸透度が黒土に比してはるかに小さい。故に豪雨時には表層黒土部分が飽和に近くなつて地表からの浸透能を減じ、または局部的に飽和して浸透能を失うところができる。(下層の浸透能が小さいといつても、火山灰堆積当時生えていた植物根毛跡と思われる管状の空隙が通つているので、水中に沈澱した泥層や山腹の残積土などより水の透過は大きい。)なお表層、下層の境界部にはしばしば表層から沈降してきた微粒子や、溶解物質が集積してかなり不浸透性となつていることがある。このため豪雨時には急激に出水量を増大する。

火山山麓およびその付近には富士マサとかコラなどと呼ばれる盤層を挟むところがある。これは火山砂がかなり高温の状態以降下凝結したものと考えられ、概して硬くて植物の根も透らず不浸透性である。このため豪雨時表層が飽和し、浮力で土層が浮き出して流れ去るような特異の侵食を生じる。

また関東ローム層の容気率が小さいことも侵食に関係する。すなわち地下水位が深くても、容気率が小さく5%内外のことが多いので、少い地下水補給に対して地下水位上昇が非常に大きく、豪雨時はローム台地が広面積にわたつて飽和し、地下水面が地表に現われて浸透能を失うことが見られる。このため常時は高台で地下水の深い地帯が、低湿地のように湛水して、流出率が特別大となる。(地下水位の上昇は地下水補給だけによらず、下方の空気が逃げられないで豪雨時異常に上昇することもあり、またローム層下底と砂礫層上面付近がやや不浸透性のため一時的に宙水状態になることもある。)

強雨による地表皮膜の形成は、関東ロームの団粒が破壊されると微粒となること、破壊に対する抵抗が小さいこと、常時は空隙率が80%にも達して、これが団粒相互間の結合を弱め移動して地表の空隙をつめることなどによつて、特に著しく観察される。もし地帯が不良の場合には皮膜の形成が流出と土壌流亡に大きく影響するが、実際には全面的裸地状態の場合はなく、作物ぎりかえ時の短期間、または流域一部の地帯不良部分に限つて強雨の打撃による皮膜形成が見られるだけである。

関東ロームの侵食量は枠試験の結果によると、年間流亡土厚さで裸地の場合1~4mm内外に達する。(道路の低下などはこの10倍から最大10cm程度になる。)これに対して作物地帯のある枠試験結果は裸地の場合の $\frac{1}{10}$ から数十分の1という小さい値となり、果樹園の草生栽培や敷わら区では流亡土壌ほとんどなしという試験成績もある。ただし小さい枠試験ではそのなかに水みちの発生する余地はなく、道路侵食で見られるように集中した水でひどく掘られることが試験されない。

一般に関東ロームを含めて火山灰土の侵食に対する特徴は次のごとくである。

- 1) 浸透がよく地表流出水が少いが、一定量の水に対する流亡土量は大きい。
- 2) 面状侵食は少くガリー侵食が著しい。ガリーに続く水みちの低下によつて面的にも侵食が広がる。
- 3) 表層は団粒が発達するが、空隙率が大きで団粒と団粒の結合が弱く、特に乾燥したとき強雨があると、団粒ごと水に浮いて流され、少い流出水で大きい流亡土量を生じる。
- 4) 団粒が崩れると土粒子は微小で、強雨の打撃、踏固めなどで地表皮膜を形成し、膨軟なところに対して極端に小さい浸透能となる。

2. 関東ローム地域における浸透の特性

円筒法による浸透能を関東ローム地帯各地で試験した結果は次のごとくであつた。

膨軟な畑地(相模原)においては初期浸透能 $f_0 = 200 \sim 250 \text{ mm/hr}$ 、終期浸透能 $f_c = 50 \text{ mm/hr}$ となり、荒川北岸台地(檜原)では $f_0 = 100 \sim 150 \text{ mm/hr}$ 、 $f_c = 10 \text{ mm/hr}$ となつた。また踏固地では $f_0 = 15 \text{ mm/hr}$ 、 $f_c = 3 \text{ mm/hr}$ 程度に測定された。

円筒法は表面に1cm程度の湛水がある場合であり、実際にはこのように地表を全面的に水が蔽うようなことはない。なお円筒内を攪拌しないように静かに注水した場合と、降雨が地表を打つ場合とは異なる。富士山麓の火山灰地域で多数の円筒内注入試験を行つた結果は $f_c=120\sim 180\text{ mm/hr}$ であつて関東ローム台地より大きな値を得た。なお斜面浸透計によつて同一地域で浸透能を測定した結果も円筒法とほぼ等しい f_c となつた。

もし自然の広地域においてこのような f_c が存在するとすれば、いかなる強雨でもほとんど地表流出を生じないはずであるが、実際にはある程度降雨が連続した後なら 10 mm/hr 程度以下でも地表流出を生じる。これはいかなる理由によるものであるか。

自然の流域には浸透の大きいところと、水みちになる不浸透性に近いところが混合し、水みち流出は弱雨でも生じるからである。関東ローム地域における侵食は前述のように水みち流出に伴うガリー侵食および雨裂によるものが大部分である。

水みちは道路、水路、宅地、その他踏固地のように常にその場所が一定しているものと、降雨の継続に伴い地表皮膜の形成とか、中間流出的に浸み出た水が集つて流れることによつて発生するものとある。前者は降雨前からその場所がわかつており、後者は降雨状態、地被状態などによつて一定せず、また降雨終了後の乾燥、動植物の作用で消滅する。固定的の水みち面積率は関東ローム台地では10%内外から15%程度であり、一時的の水みちは面積率が一定しないが、作物のある時期では通常10%内外と推定される。地被良好な草地や林地ではほとんど一時的水みちは発生しない。

富士山麓で長さ40m、巾10mの試験区2連(傾斜 $6^{\circ}30'$)を設け、ここにスプリンクラーで 70 mm/hr 、 50 mm/hr 、 30 mm/hr の雨を人工的に降らせて流出、流亡土を調べた結果、耕耘した畑状態の裸地における f_c は 0.4 mm/min 、すなわち 24 mm/hr となつた。これは円筒法や斜面浸透計による $f_c=2\sim 3\text{ mm/min}$ と大いに異なるが、散水によつて一時的な水みちを生じ、これが次第に生長して深さ10cmにも及ぶ雨裂になり、その面積率が10~20%になつたため全面積平均の浸透能が小さくなつたのである。なおここでは裸地状態で土層が十分湿つているとき人工強雨があると、総流出率で40%程度、ピーク流出強度の降雨強度に対する比率は最大60~70%ぐらいになることがわかつた。

実際の降雨は長時間連続して一樣な強雨があることは少い。また連続降雨量 300 mm に達したとしても、強雨の連続は3~4時間でこの間に $100\sim 150\text{ mm}$ 降り、残りの $150\sim 200\text{ mm}$ は20~30時間を要して降るのが普通である。この場合強雨連続時を除くと関東ロームの水みち以外の膨軟地では、降雨のほとんど全部を浸透させている。

降雨が中休みしたり弱くなつたりすると、関東ローム表層は裸地で地表を雨にたたかれさえしなければ、浸透能がすぐ回復して安定した f_c の状態にはならない。ここに f_c 状態というのは表層が飽和に近くなるまで初期吸収する能力で、 f_c 状態は表層がほぼ飽和して表層より浸透能の小さい下層土の能力に支配された場合である。表層から下層への水分移行は表層の圃場含水量(平常保水量)を超過した水分から、表層がほぼ飽和するまでの水分量の間を生じているものであり、下層への水分移行度は表層の超過保留水分量に比例するものと考えられる。(表層水分の時間変化から推定)

表層の最大超過保留水分量は関東ロームでは 100 mm 以上にも達するので、表層は海綿のように飽和近くまでは水分吸収能力が大であり、雨の中休みや弱雨の間に下層へ移行した水分量だけ、急速に吸収できる浸透能力を回復する。これは表層が雨滴にたたかれない地被良好な場合における関東ロームの浸

透能特質であり、円筒法で実験することができる。ただし表層土粒子が膨潤する場合には浸透能の回復が衰えるはずであり、土壌によつてはこの影響が強く現われるが、火山灰土ではあまり顕著でない。

水みち以外の膨軟地ではこのようにどんな強雨でもほとんど地表流出を生じないが、地被不良で雨にたたかれて分散した土の微粒子が空隙をつめて不浸透性皮膜を作ると、富士山麓の人工降雨による試験のように相当の地表流出を生じる。

赤城山麓での調査によると、やや広い放射状尾根の中央に掘れこんだ直線状道路が走り、その両側は地被のあまり良好でない畑地となつている細長流域で、強い夕立があると想像以上の出水があることが痕跡から推定される。道路などの固定的水みち面積率は10%、一時的な水みち面積率は15%ぐらいであつて、水みちの浸透率は流出量から逆算して0.1mm/min、すなわち6mm/hr程度と考えられる。

荒川北岸の柳橋原を中心とした台地は、豪雨時に地下水位が急上昇して大面積の湛水地域を生じるため、膨軟地であつても浸透能を失つて高い流出率を示す。ただし地下水位が上昇しないうちは雨の中休みなどによる浸透能回復のため流出は非常に少く、地下水位上昇とともに急増することが、ここを流域とする台地河川の流量観測からわかる。

一般の関東ローム流域では地下水位が豪雨のため地表に現われる場合は少い。故にローム台地は降雨の連続中に浸透する量が非常に多く、300mm~400mm内外の豪雨でも総流出率は30~40%がせいぜいである。

これは印旛沼流域、手賀沼流域、また埼玉、茨城などの台地流域を主とする河川の流量観測からわかる。

関東ローム台地のように比較的一様な地形で、浸透性の大きい土層の流域では、降雨と流出との関係を浸透法によつて説明することが可能となる。浸透法は次式によつて示される。

$$i = f + r_e, \quad r_e = \Delta S + q_s, \quad q_s = K \cdot S^M, \quad S = \sum \Delta S$$

ここに K , M は常数,

i : 降雨強度, f : 浸透能, r_e : 降雨余剰, ΔS : 地表貯溜量変化,

S : 積算された地表貯溜量, q_s : 地表流出強度

この場合 S は地表を全面的に蔽う水の薄層ではなくて、水みちに集中して流れる水の流域平均厚さ換算値となる。これらの式において i , q_s の実測から逆に f を計算することができる。ただし計算された f は流域平均浸透能であるから、水みちと膨軟地にそれぞれの面積率を仮定して大別する方が流域の実情を知るのに好都合である。

富士山麓における実験地の f はしばしば模式図に示された形とほぼ似たように求められ、その際の f_c が前述のように0.4mm/min程度となるのである。(ただ地表流出が水みち側壁の崩壊によつて一時せきとめられ、流出初期に小さいピークをもつた凹凸ある曲線を描く場合がしばしば測定される。)

3. 関東ローム地域における水および土地保全の諸問題

関東ローム地域は都市が多く人口密度が高いので、自然の地被を破壊することによる水および土地保全の各種問題が発生している。

火山山麓地帯ではガリー侵食による土地の破壊と、ガリーに集中した水の流末が人口稠密地帯を貫きその氾濫被害に軽視できないものがあり、またガリーの流入する河川が河床上昇によつて沿岸に害を与える問題がある。

従来、火山山麓は緩傾斜で高燥の土地であるので出水とか侵食には一般が無関心であつたが、緊急開拓とか山麓地帯の宅地化、工業発展などによつて注意されるようになった。

畑地はよく耕耘され作物の地被があれば、火山灰土特有の大きな浸透能力を弱めることがなく草地や林地に対しても出水を増大させないが、新たに道路を通じ道路出水の処理を誤ると、道路自身とその付近の土地を破壊するばかりでなく下流では上からの出水被害を受けるようになる。道路側溝の水は安全な谷があれば早くこれへ導くが、浸透溝を掘つてこれへ浸透させた残りを谷へ落とすことが水保全上にも望ましい。ただし浸透溝へ沈澱した土砂は掘り上げる必要がある。道路自身が掘れないように路面を強化することも、また道路へ流れこむ畑区画境界などの水みちを芝などで階段化することは畑地面の管理以上に有効である。火山灰土の畑地面は浸透が大でも上から流れてくる水には弱い。故に排水路、承水路が氾濫しないような断面を与えることが特に重要となる。富士マサのような硬い盤層は、これを経済的に破砕することが困難であるが、浅くて植物の生育を甚しく害する場合にはレーキドーザーか火薬による破砕が計画されている。

関東ローム台地は火山山麓ほど侵食の危険は大きくない。それは傾斜、斜面の長さ、表層および下層土が火山山麓よりやや粘質となつているのが通例であるからである。しかし台地縁辺とその付近の台地面には侵食に対する注意を要する。台地下から台地へ通じる農道は深く掘れこんでいることが多く、その農道に続く支道や畑境界の踏跡もかなり低下している。このため畑の周辺の侵食が大きく、これを防止するため周囲桑園、茶、密生植物など農家の必要上自然に生じた有効な方法があるが、さらに農道の侵食防止を図ることが重要である。

ローム台地の平地林は開墾されたり宅地化したり、道路、工場、ゴルフ場、飛行場敷地となつて次第に減少する。このため下流地帯の出水を激化するとか用水が涸渇するという問題は各地におこつている。

台地の畑地面浸透能は十分大きく、地被良好の場合は林地に比してさして差異がないことは前述した。台地間谷地田の浸出水はその流域が平地林でも畑地でも特に違つた点を認め難い。例えば荒川北岸台地の榎挽原一帯数千haはかつて平地林がほぼ $\frac{1}{2}$ 程度あつたのに、明治年代から現在に至る間にほとんどなくなつてしまつた。それでもここを地下水流域とする台地間低地ではかえつて水田面積が増大している。また平地林のある下方台地にはしばしば湧水があつて、いかにも平地林のおかげで湧水が豊富であるように考えられるが、湧水量から逆算される地下水流域、および付近一帯の地下水面の形は平地林と湧水とを直接結びつけることの誤りを証明する。この湧水は結局関東ロームの浸透性が大きいことに起因するものである。

よく管理された畑については水源涵養能力に不足はないが、もし大面積にわたつて宅地化されたりすると浸透水量の減少を考えないわけにはいかない。例えば東京の工業用水源として深層地下水は非常に重要なものであるが、その給源地域である関東ローム台地の浸透性が低下することは軽視できない。同様に谷地田の浸出水に対する地下水流域が畑地から宅地化すると、浸透性が急減するので何等かの影響があるはずである。

ローム台地の平地林は豪雨時地表水の氾濫場所となつて下流への流出を緩和してきた。もしこれが開墾され氾濫しないように排水路が掘られ、道路が縦横に通じるようになると、下流への出水が激化することは当然である。畑地面の降雨が全部浸透し、出水は水みちだけと仮定しても、いままでなかつた水みち流出が高台から下方へ押してくることは確かである。畑地でなく宅地化したときはさらに多くの水

が流出する。故に出水に対する対策については十分注意して科学的な判断に基く処致を必要とする。

関東平野の水利に恵まれない畑地が、今後かんがい施設を有するようになることは、利根川総合開発、霞ヶ浦のポンプ揚水などに伴ってかなり有望である。この場合畑地の傾斜をそのままにして畦間かんがいをすれば、土壌侵食の点で不利である。これに対し畦畔を築いたボーダーかんがいとか、水田式の間断かんがい、田畑輪換は土壌侵食防止上望ましい方法である。さらに水田式にした場合の浸透損失は下流で再利用の可能性がある水資源と考えられ、また自然降雨も畦畔中に貯えられ水保全として理想的である。

以上は主として下記文献を総合したものである。

- 1) 浸透能に及ぼす土湿の影響, 農土研, Vol. 20, №. 3 (1952)
- 2) 野水の流出機構と道路侵蝕について, 農土研, Vol 19, №. 2 (1952)
- 3) 地表流出と地下水との関係, 農土研, Vol 17, №. 2-3 (1950)
- 4) ローム台地における出水の解析, 農土研, Vol 20, №. 5 (1953)
- 5) 土壌侵食の統計的考察, 農土研, Vol 26, №. 2 (1958)
- 6) 水文学的循環における土壌の効果, 農研報告, F-9 (1956)
- 7) 小流域における流出機構の研究, 農研報告, F-12 (1960)
- 8) 農業水文学, 第2章, 第4章, 第7章, 第8章, 土木雜誌社
- 9) 富士山麓侵食試験成績(未発表)

地力変動観測施設の設計及び問題点について

沼尾林一郎・鈴木秀平・金井徹・琴寄融

群馬県農業試験場

1. ま え が き

1958年から地方変動観測施設が全国主要地域に設置されつつあるが、本観測施設は水蝕、風蝕及びその他諸要因と地力の変動との関係を調査究明して、地力保全対策を確立するための基礎資料を得るために設けられるものである。従つて、その内容はきわめて広汎に亘つているが、夫々の目的内容に応じて、種々の異なつた施設が設けられることになつてゐる。

筆者等は(1958年)、以上の諸要因のうち、水蝕に関する観測施設の建設に従事したので、ここに設計の概要を發表し、更に設計上の問題点について若干の私見を述べて、御指名に対する責を果したいと思う。(なお、本報文の一部は日本土壌肥料学会(1960)の講演要旨に發表されたものである。)

2. 分水装置(Diversion devices)の考案と流水実験結果

水蝕に関する施設に於ては、水及び土壌の採集装置が最も重要な部分であると考えられるが、特にその設計に當つては如何なる豪雨に際しても、試験圃場内の流去水及び流亡土壌が安全かつ確実に採集し得られるよう留意することが必要である。これがためには、採集槽の容量は出来得る限り大にすることが必然的に要求されるが、実際には種々の制約を受けるので、むしろ採集槽は可及的に小さくして、上