

山腹工作物の凍害防止に関する研究

— 侵食土砂量に影響する因子の検討 —

辰野良秋・堀内照夫

I 緒 言

土壤侵食は主として降雨か風によっておこり、特に降雨に際し雨滴の落下重力で先づ土壤表面がたたきこわれ、ついで地表面または地表面近くの土壤中を流下する水によって土粒子が溶解され、または押し流されて運び去られる。これが一般にいう土壤侵食の典型的なメカニズムである。したがって降雨量が多く、降雨強度が強ければ強いほど侵食量が多いのは当然である。そしてこの現象は土地の地形、土性、植生の状態によって著しく異なる。

一方、冬期積雪が少なく、寒気のきびしい地方にあっては、霜柱、土壤凍結によって全く別のメカニズムから、一般的な土壤侵食に対して比較にならないほど甚大な侵食を受ける。土壤凍結に伴う凍上によって山腹工作物が破壊されたり、凍結、融解のくり返しによって浮土砂が生産されて崩壊、侵食をおこし、それによって荒廢地が新生、拡大されるなど裸地斜面の受ける侵食は著しく大きい。

長野県中南部は冬期積雪が少なく、寒気がきびしい上に霜柱、凍上現象をおこしやすい火山灰土（信州ローム）でおおわれているので山腹斜面の崩壊、侵食はもとより、その拡大に伴う流出土砂が多く、その復旧は困難である。また道路、堤防の構築に伴う盛土、切土斜面が、冬期間に受ける霜柱、凍上対策はきわめて重大な問題である。

本研究はさきに発表した霜柱侵食の防止に関する研究に凍上侵食を加えて長期計画で実施しているもので、斜面からの侵食に重大な影響を及ぼすと考えられる因子について、昭和40.11.11～42.3.31までの間模型斜面について実験した結果を取りまとめたものである。

II 実験の方法

信州大学農学部は天竜川の右岸にあって、第4紀洪積層のローム（信州ローム）でおおわれている。A層は黒ぼく、漸移層を経てB層の赤土が厚い。堆積期における河状地帯には大小の石礫を混じり、またところによっては礫層（天竜礫層）の露頭もある。本実験は学内において行なった。

(1) 土 性

実験斜面は信州ローム黒ぼく、赤土によって構成されており、その性質の一部は表II-1のとおりである。

(2) 実験斜面

(i) 傾斜角の異なる斜面

表II-1) 土 壤 の 性 質

土 性\種 別	信州ローム黒ぼく	信州ローム赤土	
比 重	2.3	2.9	
孔 隙 量 (%)	73.8	66.9	
容 積 重 (ton/m ³)	0.66	0.84	
自然傾斜角	湿 (度)	36	38
	乾	30	32
P F	0 (%)	113.0	74.6
	3	71.7	41.2
透 水 係 数	3.8×10^{-4}	7.7×10^{-5}	
団 粒 係 数	21.8	45.6	
粘 土 (%)	29.0	26.3	
腐 植	15.6	0.1	

昭和35年に構築したグラウンドの斜面(信州ローム赤土, 南東)に幅200cm, 斜面長450cmの帯状に傾斜角43°, 40°, 38°, 33°, 26°の切土斜面を作り, 法尻は板を埋めて固定し, 木製の受箱(60×10×10cm)を設置した。

(d) 斜面長の異なる斜面

前と同じ斜面(南西, 傾斜角31°)に幅200cm, 斜面長を360cm, 260cm, 165cmとし, 木製の受箱で侵食土砂を受けた。

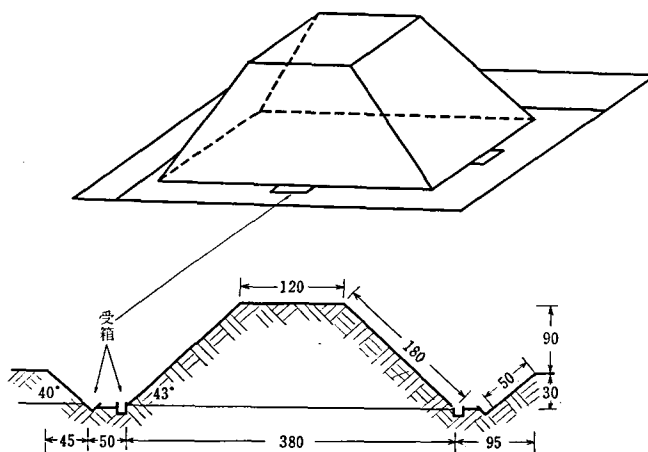
(e) 方位別の斜面

校内苗畑(信州ローム, 黒ぼく)の一部に図II-1)のような東, 西, 南, 北に面した盛土斜面(43°)を作り, 土砂を盛り上げるために掘取った外周を整理して切土斜面(40°)とした。盛土斜面の法尻は前と同様に板を埋め込んで固定し, プリキ製の受箱(45×15×10cm)を設置して侵食土砂を受け, 切土斜面については長さ150cm, 幅15cm, の2枚の板をV字型に法尻に固定した。法尻を固定するための板は凍上によって持ち上げられないように木杭を十分に打ち込み, 15cmの釘で固定し, 受箱は底に断熱材を敷き, 木杭で止めて凍上による移動を防いだ。

(f) 侵食防止工

(階段工) 北東(33°), 南東(35°), 北西(30°), 南西(31°)に面した斜面に幅200cm長さ450cmの帯状斜面を2列設け, 一方はピッチ150cm間隔に幅25cmの水平階段をつけた。したがって水平階段の高さは10cmになったが, 別に保護することなく素掘りの状態においた。斜面の法尻は板で固定し, 土砂受け箱を設置した。

(筋工), 平均傾斜角30°の南西斜面で, 法尻部分の土砂を掘り上げて傾斜角38°, 斜面長475cm, 斜面幅140cmの実験斜面を作り, 野芝, 人工芝, 筋播(雑草の種子2種を筋状に播種した)混播(雑草の種子2種を斜面に混播した)萱筋(萱株を筋状に植えつけた)の5工種を工種間隔47.5cmとし, 同一斜面に2筋ずつ施工した。同じ規模の筋工を4, 5, 6, 7, 9月に施工時期をかえて施工し, 生育状況を観察しながら霜柱, 凍上侵食に対する抵抗性を比較検討した。



図II-(1) 模型斜面

(施肥) 寒冷期に入る前に、窒素(尿素)、リン酸(過リン酸石灰)、加里(塩化加里)を圃場に設けた試験区(40×40×10cm)に施用した。試験区の土壌は一たん掘りおこして肥料を加えてよくまぶし、元の穴に埋め戻した。別に肥料をまぶした各種土壌を木箱につめた。これらの実験は、施肥量、施用時期をかえて行ない、霜柱、凍上性について観測した。

(3) 測定方法

侵食土砂は時々法況に設置した箱から別の容器に移して実験室に搬入し、乾燥器で乾燥し秤量した。信州ローム赤土の中には石礫を含んでおり、土砂と共に崩落したが、フルイで分離して4.8mm以上の石礫は除外し、夫々の斜面積当りの土量を ton/ha に換算して表示した。これとは別に各斜面の一部を掘り取り、含水量測定のために2mm以下の様な土砂を予め埋め戻して置き、時々採取し乾土量に対する水分量を%で示した。なお気温は信州大学農学部測定の結果と自記温度計による測定値を使用し、斜面に対する日射量の測定は日照計にて代用した。

III 実験の結果と考察

(1) 霜柱、凍上侵食のメカニズム

斜面における霜柱侵食のメカニズムおよび霜柱による侵食量の測定は模型斜面についての^{2)~4)}実験および山腹工施工地における測定があるが、測定地の条件が異なることと測定条件が一定でないので、普遍的な侵食量は明らかにされていない。特にこの現象が長野県の中南部、北関東および積雪の少ない東北、北海道の一部とその他の地方では山間地帯に限られていることから、一般的な問題として研究されなかったことが霜柱、凍上侵食の実態を明らかにしていない大きな原因の一つであると考えられる。昭和34年9月25~26日に来襲した台風15号は、当地に119.9mmの降雨をもたらしたがその時の斜面(傾斜角20°、斜面長210cm)の侵食量

が 2.2ton/ha であったのに対して、その冬の2ヶ月間(11, 12月)の霜柱侵食量は 4~5 ton/haで、一般的にはそれほど問題にされていない冬期間の侵食が大きく、やがては洪水災害に伴なう土砂流出の禍根になっていることを認めた。傾斜角 20° は土壤侵食の面からは安定した勾配であるにもかかわらずこのような結果を見たのであって、その後の調査においても確認された。

表Ⅲ—(1) 盛土斜面における月別、方位別侵食量

月	方位	東	西	南	北	備 考	
41	4	25.9	26.0	28.3	26.0	84.1mm	
	5	7.5	5.4	6.6	4.8	189.9	
	6	1.2	1.0	1.3	0.9	203.2	
	7	0.5	0.1	0.1	0.2	206.2	
	8	0.1	0	0	0	35.7	
	9	0	0	0	0	295.8	
	10	0	0	0	0	89.6	
	11	0	0	0	0	102.4	
	12	24.3	26.1	45.1	0.5	27.5	
	42	1	60.8	81.1	75.0	0.6	88.3
		2	3.0	55.0	14.7	0.3	80.6
		3	45.5	47.6	26.3	3.2	146.1
計	168.8	192.9	194.9	36.5			

1 傾斜角 45° 、斜面長180cm、斜面幅60cm、からの侵食土砂量(乾土)を ton/ha に換算

2 備考は降水量

表Ⅲ—(1)は、昭和41年4月から翌年3月末まで1ケ年間の侵食量を示したものである。この模型斜面は3月下旬に盛土によって構築し、ピッチ45cmに人工芝を筋状に施工したもので、4月1日から侵食量を法尻に設置した土砂受箱で受け、定期的に採取し、乾燥秤量して1ヶ月の侵食量として示した。これによると、冬期間における霜柱、凍上侵食量がその他の期間における侵食量と比較してはるかに多いことを示している。この場合、4月の侵食量は斜面構築直後における地表土の乾燥と、霜柱侵食によるもので、当地方では4月中旬まではしばしば霜柱が発生する。また6、7月の侵食量はかなり少なく、8月以降11月までは侵食量はほとんど認められなかった。このことは一部には人工芝による筋工の効果が発揮されたものであることを認めることができるが、それ以上に土砂が落ちつくと、裸地斜面でも降雨による侵食はきわめて少ないといえることができる。人工降雨による実験斜面では、降雨強度、斜面勾配、土質によって定量的な解明が行なわれているが、自然条件では降雨による侵食量はきわめて少ない。一般的にいう雨水による斜面の侵食機構はいわゆる斜面の表層崩壊によるもので、平面的な霜柱侵食とは全く別の機構によるものであって、降雨量とその集合性、透透能と水道現象、間隙水圧の発生が大きな要因になっており、侵食機構は垂直的である。したがって、土壤侵食を考える場合はこの両者をよく理解することが大切であり、この意味において霜柱、凍上現象による平面的な土壤侵食の実体が明確に示されたものとする。

12月以降の侵食量は定着した筋工を埋め、あるいは破壊して崩落したもので、前述のとおり霜柱、凍上侵食のメカニズムと、斜面の方位によって侵食量が著しく異なることを明らかに示している。霜柱、凍上侵食に対する筋工の役割については後に述べるが、これを防ぐためには斜面を完全に被覆しなければならないと考える。

土壌侵食は (i) 降雨の量、強さおよび頻度、(ii) 傾斜角度および斜面長 (iii) 植生その他被覆物の有無およびその性質 (iv) 土性などの因子に主として支配される。一方霜柱、凍上侵食は降雨量の少ない冬期間の現象であるだけに、降雨による影響は融解期以外余り関係しない。霜柱、凍上現象は土壌水分が $PF=3.0$ すなわち水分当量以下の状態ではおこり得ない現象である。それ以下の水分状態では土壌凍結をおこし、更に水分が減少すると群状(塊状)凍結および粒状凍結をおこし、多量の浮土砂をつくり侵食されやすくなるので、寒冷初期における適度の降雨は霜柱の発生を助ける役割を果たすことになり、却って侵食量を少なくすることになる。ただ融解期における降雨は特に北面で凍上侵食に重大な影響を及ぼすので、特別に考えなければならないが、このことは後で述べる。霜柱、凍上侵食のメカニズムは一般的にいう土壌侵食の機構と全く別のものであるということは前に触れたが、現在考えているところの霜柱、凍上侵食の過程をまとめるとつぎのようである。斜面から土砂が崩れ落ちる現象は根本的には重力によるか、あるいは表面流出水によって洗掘され流亡するものであるということが出来る。したがって地形、土性および植生の条件はこの作用に対して安定性が大きいか小さいかを支配するものである。そこで霜柱、土壌凍結をおこすような時期になると地表面の土壌が凍結し、融解するという現象をくり返すので、それによって地表面の土性条件が侵食されやすい状態に導かれやすいところに根本的な特性が存在する。冬期間以外においては、地表面が乾燥する場合、下層土の土壌水との関係を保持しつつ、徐々に乾燥していくのが通例である。すなわち、地表面からの蒸散が活発で土壌水を失って乾燥する場合にしても、下層土より水分補給が連続的に行なわれるので急激に乾燥しきることは非常にまれで、連日晴天が続けばいわゆる乾ぼつ現象を呈するのであるが、この現象は一般的でない。ところが霜柱、凍上期に入ると地表面が凍結し、気温の上昇、ふく射熱によって乾燥するので、機構的には凍結乾燥の過程をたどる。したがってその乾燥機構は急激であり、徹底的である。そのため土壌は吸湿水まで失うので、凝集力を失って細粒化され、しかも附着力を失って未凍結の下層土と遊離されしてしまう。その結果下層土からの水分補給が絶たれ、不安定な浮土砂となって地表面に残ることになり、斜面から崩れやすくなり、風のために飛散され侵食が進行する。この経過が連日のごとくくり返されるのであるから侵食量が多くなるのは当然である。

(2) 霜柱、凍上侵食に関係する地形因子の検討

霜柱、凍上侵食に影響する因子は

気象条件

(i) 最低温度(氷点以下の積算寒度) (ii) ふく射熱(日射量) (iii) 風

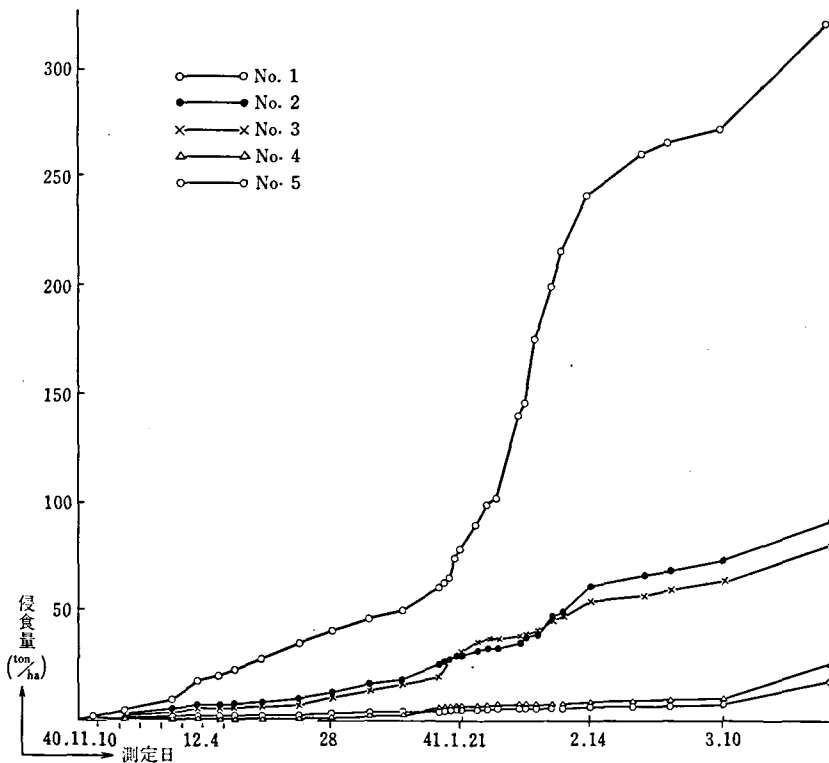
地形、地質条件

(i) 傾斜角、斜面積 (ii) 植生その他被覆物の有無とその性質 (iii) 土性

であると考えることができる。ここではこれらの因子のうち主として地形因子について行なった実験の結果を考察する。

(4) 斜面の傾斜角

治山、砂防を目的とする土木工事において裸地斜面の安定を図るために施工される山腹法切工、山腹緑化工および道路、堤防の法面保護のための工法については近年著しく進歩しており、霜柱、凍上侵食に対する工法については粗朶伏せ、粗朶積工および編柵工と藁伏工の併用、ならびに植生盤工法が技術的に優れている。しかしながらこれらはかならずしも合理的な工法ではないと考える。山腹工事における法切工の理念は、山腹の傾斜を緩和し、凹凸を切り崩して一様な斜面にすることを目的としており、法切工だけで独立した工法であるとする考え方もないではない。この場合法切傾斜角はその土地を構成する土砂の自然傾斜角以下にすることを理想とし、実際的には $35\sim 45^\circ$ にすべきであると指示している。一方道路、堤防の法勾配についても原則的にはその土砂の自然傾斜角以内にとどめるべきであるとしながら侵食を受けやすいところでは切土勾配1割、盛土勾配1割5分にする場合が多い。そして斜面に対する被覆は消極的には自然に侵入する植生を期待し、積極的に張芝工、積苗工、石積工等の斜面保護をひき続き実施するのがたてまえである。ところで石積工ないしコンクリート工については、その施工時期に関して制約を受けることは少ないが、植生で被覆するための工法においてはその成績は絶対的に施工時期に支配される。土木工事の大半が公共事業として実施されている近年においてはきわめて条件の悪い時期に植生工が実施される場合が多く、これ等の斜面は必然的に一冬ないし更に長い期間裸地のままで経過しなければなら



図三—(1) 傾斜角度別の霜柱凍上侵食量 (信州ローム赤土、南東)

ないのが通例である。ここに工法の改良，選択の問題がクローズアップされるわけで，これについては後で述べる。アメリカにおいては——風によって飛散し，侵食されるものが多いと考えるのだが——傾斜 2° 以上の土地で傾斜角が 1% 増すごとに土壤侵食量は 25% 増すと¹⁷⁾いわれ，更に傾斜が増大すると土壤侵食量は4倍になるとされている。

昭和40年10月から昭和41年3月までの一冬期間の霜柱，凍上侵食による傾斜角と侵食量の関係は図Ⅲ-1のとおりである。No. 1は自然傾斜角 38° より急な角度で 43° にNo. 2，No. 3は 40° ， 38° にし，No. 4，No. 5は乾燥土の自然傾斜角 32° に対してそれぞれ 33° ， 26° に仕上げたものである。傾斜角は切土斜面であるのでほぼ一樣に仕上げた。侵食量はNo. 1，No. 2とNo. 3，No. 4とNo. 5の3階級に明らかに分かれて特徴を示した。No. 1のように傾斜が急であると気温の低下に伴って霜柱が発生し，更に地表面の土壤が凍結し，融解，発生がくり返されるようになると絶えず侵食されて崩落するので，侵食量は著しく多い。No. 2，No. 3では地表面がある程度水分を保有している間は崩落しないで斜面に残る部分があって，侵食量は少なくなっている。したがって地表面に対する乾燥防止の条件，例えば被覆工が十分であるか，北向き斜面であれば霜柱，凍上侵食は非常に少ない。No. 4，No. 5は一般的には安定した傾斜角であるが，裸地のままで冬期間を経過すると霜柱，凍上のために斜面に残された浮土砂が細粒化され，異常乾燥をうけるので風食によって飛散される。この場合，一冬期間に $8\sim 10\text{ton/ha}$ ，侵食の厚さにして $0.1\sim 0.3\text{cm}$ が侵食された。裸地であれば平坦地でもこの程度は侵食されるのであるから，植生導入の必要性が痛感される。アメリカでは 4° の傾斜地で年間 0.6cm の侵食を受けると報告されている¹⁷⁾。

表Ⅲ-2) 霜柱，凍上侵食による傾斜角の変動

測定日	斜面	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
40. 11. 10		43°	40°	38°	33°	26°
41. 1. 20		39-40	36-38	35-36	32-33	25-26
	2. 6	37-39	35-37	35-36	32	25
	25	37	35	35	32	25
	3. 31	36	35	35	32	25

- 1 信州ローム赤土，南東
- 2 自然傾斜角，(湿) 38° (乾) 32°

表Ⅲ-2)は傾斜角の変動を示したものであるが，地表面の状態が一樣に変化していないのをごく概略の結果である。自然傾斜角以上の場合それ以上を構成する土砂は自然傾斜角になって落ちつくまで急激な侵食を受けるという傾向を明らかに示している。

また表Ⅲ-3)は各々の斜面について月別，平均1日当りの侵食量を示したものである。この斜面は東南面であったため霜柱，凍上の発生，融解のくり返し頻度が多く，侵食がきわめて活発であった。すなわちNo. 1の斜面では冬期間に 318ton (1日平均 2.3ton/ha)が侵食された。これは平均 3.8cm の地表土が削りとられたことを意味するもので，霜柱，凍上侵食のはげしさを示している。No. 2，No. 3では1日平均 0.7ton/ha 平均 1.0cm が侵食されたが，No. 1に比較すると $1/3$ で，ともにこの斜面を構成する土壤の乾燥土の自然傾斜角まで侵食された。そして更にこの傾向は霜柱の発生期である11~12月中旬に比較して土壤凍結

表Ⅲ-③ 斜面の傾斜角別月別侵食量(切土)

月	43°		40°		38°		33°		26°	
	月間	1日	月間	1日	月間	1日	月間	1日	月間	1日
11	13.8	0.73	5.5	0.29	4.6	0.24	1.0	0.05	0.7	0.04
12	30.8	1.00	10.0	0.32	12.0	0.39	2.4	0.08	2.3	0.08
1	94.4	3.04	20.6	0.67	23.9	0.77	2.2	0.07	5.1	0.16
2	125.0	4.44	33.3	1.18	20.7	0.74	1.0	0.04	2.7	0.10
3	54.3	1.75	23.0	0.74	20.4	0.66	2.3	0.07	16.0	0.51
計	318.0	2.27	92.4	0.66	81.6	0.58	8.9	0.06	26.8	0.19
厚さ(cm)	3.8		1.1		1.0		0.1		0.3	

1 信州ローム赤土, 南東

2 斜面積390×60cmの侵食量を ton/ha に換算

をおこすようになった1, 2月に侵食量が急激に増大した。またNo. 1, No. 2の斜面において侵食量が2月に多く, 1月, 3月の順になっており, かならずしも積算温度に比例していない。霜柱, 凍上量そのものは積算温度に比例することは既に報告されているが侵食量は前にも述べたごとく霜柱, 凍上侵食は独特のメカニズムによるもので, 斜面の方位によってふく射熱が異なったり, 侵食過程において霜柱, 凍上によって持ち上げられた浮土砂が融解されてそのまま崩落するとか, 斜面の途中に一たん残ってその後に崩落する場合等の相違によって変化するので, 積算温度に比例しないわけである。更に南面では侵食が活発に行なわれるため, 寒冷初期に大部分が侵食されてしまい, その後は積算温度が増しても却って漸減する傾向を示した。斜面を構築するとか山腹斜面を整理する法切工では, その土地を構成する土砂の自然傾斜角以内をすることを理想としているが, 霜柱, 凍上侵食を考える場合には特に乾燥土の自然傾斜角を目安にすべきであり, その斜面の方位, 遮への有無等によって工法を選択しなければならないと考える。従来例に見られるごとく, 当地方は斜面を裸地のままで一冬放置すると霜柱, 凍上侵食のために殆んど乾燥土の自然傾斜角まで侵食される。そのために地表面は何時までも安定せず, したがって植生の進入を期待することができないのが通例である。その上に崩落土砂によって道路の側溝は埋められ, 谷筋には不安定土砂が堆積し, 路面は縮小されるとともにその機能が半減されてしまうばかりでなく, 洪水災害に伴なう土砂流出の禍根になっている。

(四) 斜面長

斜面長の長いほど侵食量が多いということは当然であるが, 霜柱, 凍上侵食の場合傾斜角がその斜面を構成する土砂の細粒化された乾燥土の自然傾斜角以上において侵食量は斜面長に比例する。これ以下の場合では一冬期間の侵食量は斜面長よりむしろ斜面幅の影響がより大きい。霜柱, 凍上によって持ち上げられる土砂は持ち上がり高さを h , 斜面の傾斜角を θ とすると, 一発生期ごとに $h \tan \theta$ だけ倒伏して下方へ移動するので, 法尻附近の土砂は直接侵食量となって斜面外へ崩落するが, 法尻から上部では斜面に堆積することになる。その傾向は前項における斜面No. 4, No. 5に見ることができる。それゆえに緩傾斜の場合には, 斜面幅が大なるほど霜柱, 凍上侵食に関係する法尻部の面積が多くなり, 侵食量も大となる。し

かしながらこのくり返しによって斜面上の浮土砂は徐々に下方へ移動するので、長い間には斜面長に比例して侵食量は多くなるので裸地のままで放置することは避けなければならない。アメリカでは緩斜面を利用しての農耕が発達しており、その侵食防止工法としての草の作付、輪作、带状栽培、等高線耕作、テラスの草生、水路等の巧みな組み合わせによって土壤保全の実を挙げ¹⁷⁾ており、参考にすべきことであると考え。斜面長と霜柱、侵食量の関係は試験地の規模が小さい上に測定期間も短かく、霜柱侵食だけの結果であるが表Ⅲ-4)のとおりである。

表Ⅲ-4) 斜面長と霜柱侵食量

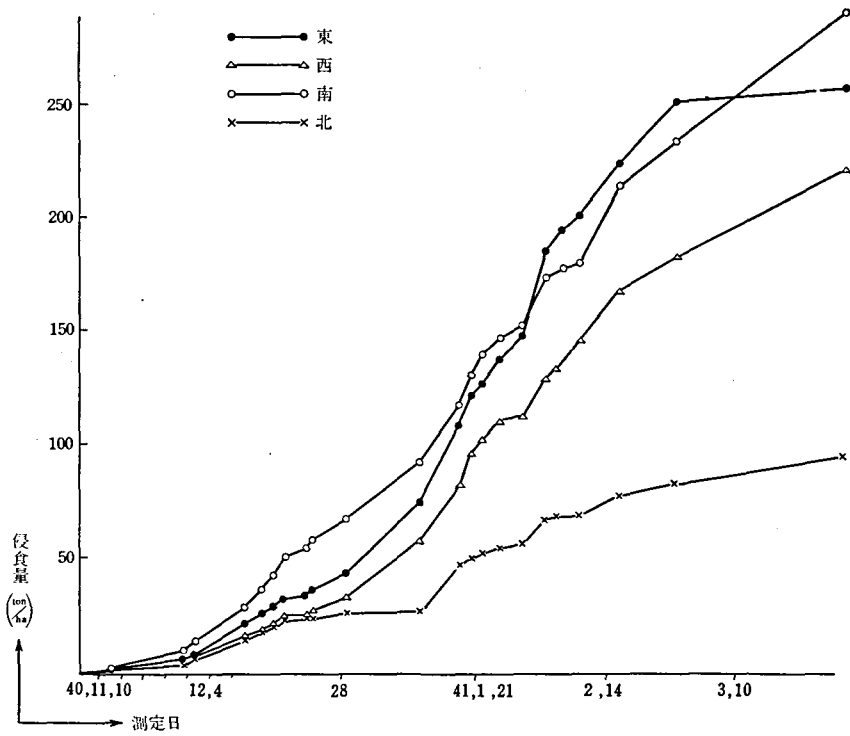
斜面 測定日	360cm		260cm		165cm	
	g/360×60	ton/ha	g/260×60	ton/ha	g/165×60	ton/ha
40. 11. 13	58	0.27	60	0.38	22	0.22
19	160	0.74	144	0.92	65	0.66
28	282	1.31	286	1.83	193	1.95
12. 7	516	2.39	376	2.41	333	3.36
10	635	2.94	400	2.56	352	3.55
15	774	3.58	485	3.11	415	4.19
22	870	4.03	608	3.89	452	4.57

信州ローム赤土, 31°, 南西

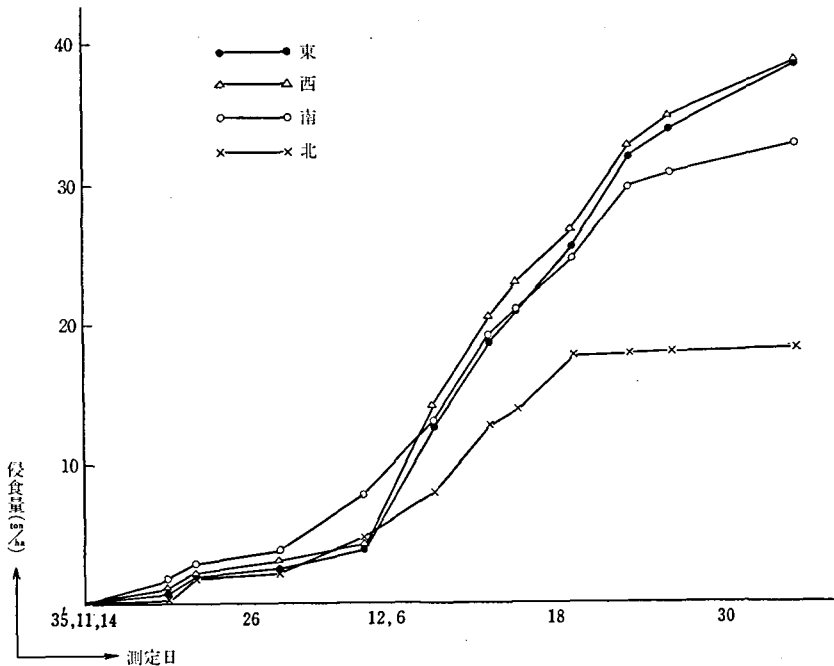
侵食量の絶対量は言うまでもなく斜面長の長いほど多くなっているが、単位面積当りに換算すると、斜面長の長さによる影響よりはむしろ地表面を構成する土性と、地表面の状態による差の方が大きいようである。前項No. 5の斜面の傾斜角は乾燥土の自然傾斜角32°よりゆるい26°の斜面であるが、それ以上のNo. 4(傾斜角31°)より侵食量はある時期において多い値を示した。これはNo. 4の斜面がConvex slopeであったのに対して、No. 5ではConcave slopeであったために風によって集積されたものと考えている。

(イ) 斜面の方位

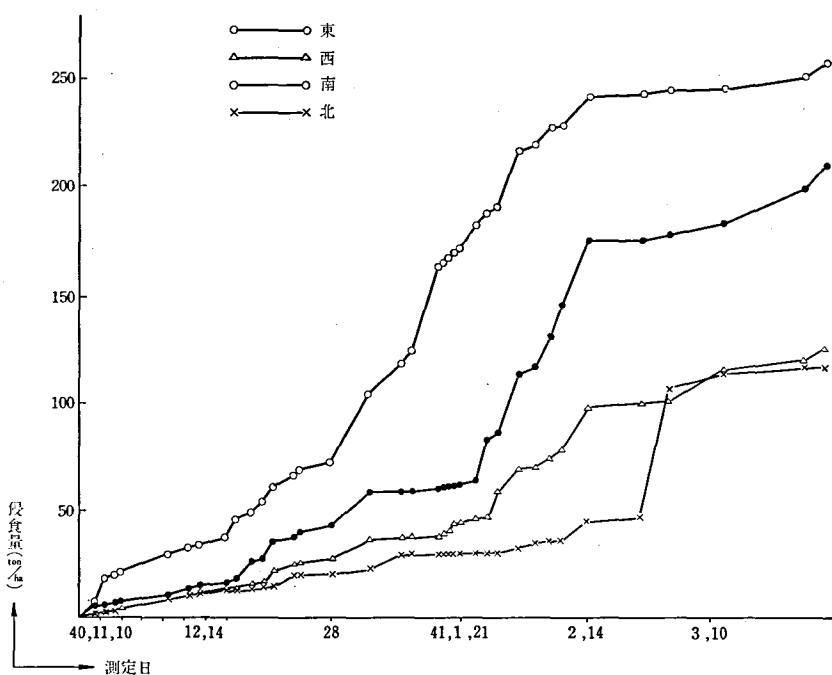
霜柱、凍上侵食のメカニズムと、主として流出水によって侵食されるメカニズムの明確な差異については先に述べたが、方位別の斜面について測定した侵食量を比較するとこのことが更に明らかである。図Ⅲ-1(2)は、東、西、南、北に面した切土斜面から一冬期間に侵食されて崩落した土砂量を示したものである。斜面の方位別霜柱侵食量については一般に南面に多く、北面は少ないとされ、南、東、西面の間には殆んど差がないということが定説になっており、凍上期を経過すればすなわち一冬期間の霜柱、凍上侵食全体ではおそらく北面が最も多くなるのではないかと²³⁾いう推定がなされてきた。これまで一冬期間を通じて測定された例は少ないが、その中で南面が最も多い結果を示したものもある。この場合⁴⁾模型斜面が50~60°の急な切土斜面であり、構成土壤の土性が明らかにされていないこと、および侵食量が容積で示されているので本実験の結果と比較すべくもないが、最低気温などから霜柱侵食だけで土壤凍結、凍上による侵食量は少ないのではないかと解釈して良いようである。したがって霜柱侵食量は北面を除くほかの斜面では著しく多いが、北面では非常に少なく、南、東西面の差は顕著でないという従来の結果と一致している。ちなみに図Ⅲ-1(3)は昭和35年の測



図Ⅲ-② 斜面方位別の霜柱凍上侵食量(切土) (信州ローム黒ぼく, 40°)

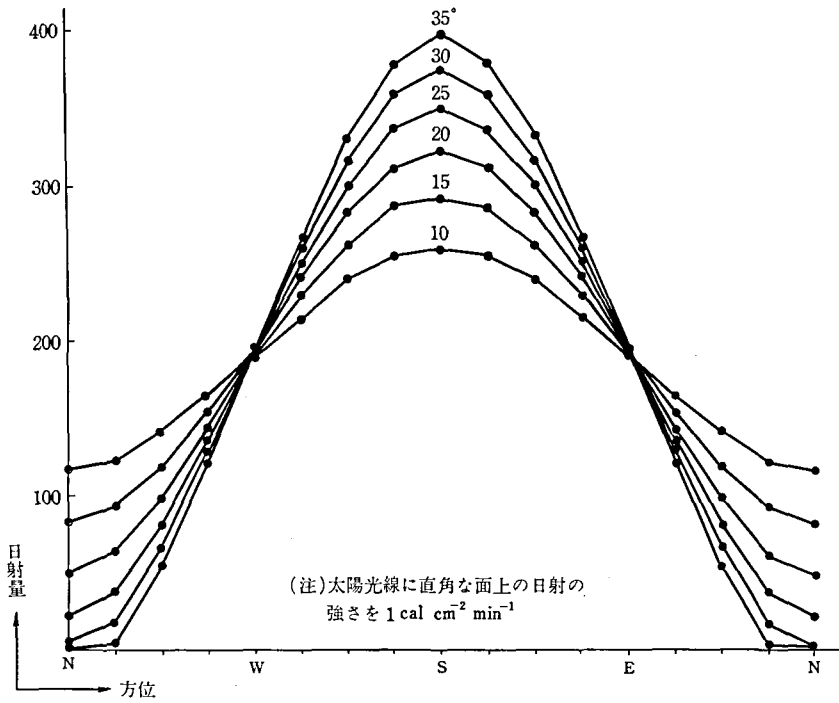


図Ⅲ-③ 斜面方位別の霜柱侵食量(切土) (信州ローム黒ぼく, 30°)

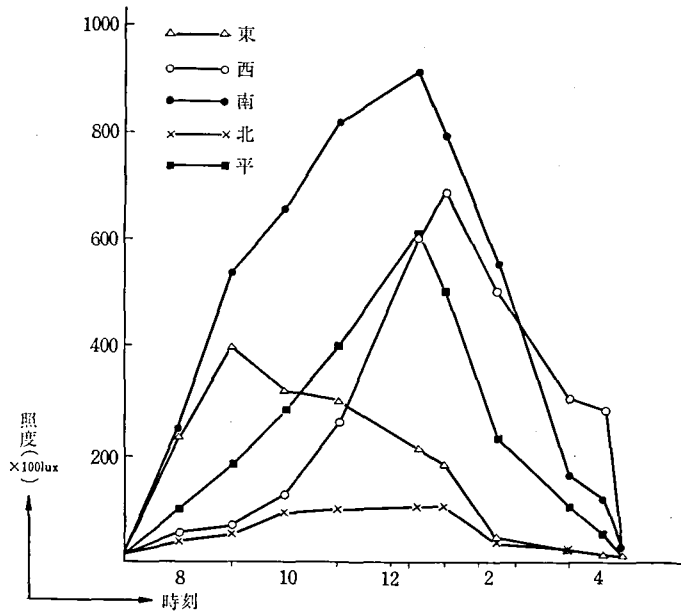


図Ⅲ—(4) 斜面方位別の霜柱凍上侵食量 (盛土) (信州ローム黒ぼく, 43°)

定結果である。一方図Ⅲ—(4)は盛土斜面における方位別の侵食量を示したもので図Ⅲ—(2)とともに北面が霜柱、凍上侵食に対してもっとも安定的であることを明らかに示すもので、さきの推定を訂正しなければならないと考える。霜柱、凍上侵食は霜柱、凍上によって持ち上げられた土砂が融解することによって倒伏し、大きい土壌粒子はその衝動によって斜面を転動し、あるいは乾燥して斜面上における安定性を失って落下し、また風によって飛散される。したがって直接侵食量に影響する因子は霜柱、凍上量の差ばかりでなく、凍結、融解のくり返しが多いほど、また乾燥されやすいほど侵食量は多くなるのである。南、東、西面と比較して北面が非常に少ないのは北面では冬期間ほとんど日射量を受けないため、12月下旬には既に凍結層をつくりそのまま越冬し、凍結、融解のくり返しがきわめて少ないからであると考えられる。この場合凍結量は積算温度に比例するので、凍結量そのものが北面に多いのは当然である。特に寒気が厳しい地方においては北面は板状凍結のまま冬を越すのが通例である。盛土斜面では切土斜面における場合よりも、南、東、西面の侵食量の差が顕著であったがこれは東、西面では南、北間における侵食条件の差が小刻みに影響するからである。換言すれば、融解速度と地表面の受けるふく射熱の差によるものである。すなわち南、東面では日の出と同時に直射日光を全面的に受けるので融解が急激に行なわれるため、霜柱、凍結土壌の倒伏、融解および持ち上げられた土砂の衝動が大きく、侵食される土砂は多くなる。西面では直射日光を受けるようになる時間がおくれ、気温の上昇によって徐々に融解するので、土砂の衝動は小さく、斜面上に残る割合が多い。そのために侵食量は少なくなっている。このようにして霜柱、凍上の融解による初期侵食が行なわれるのであるが、日中にお

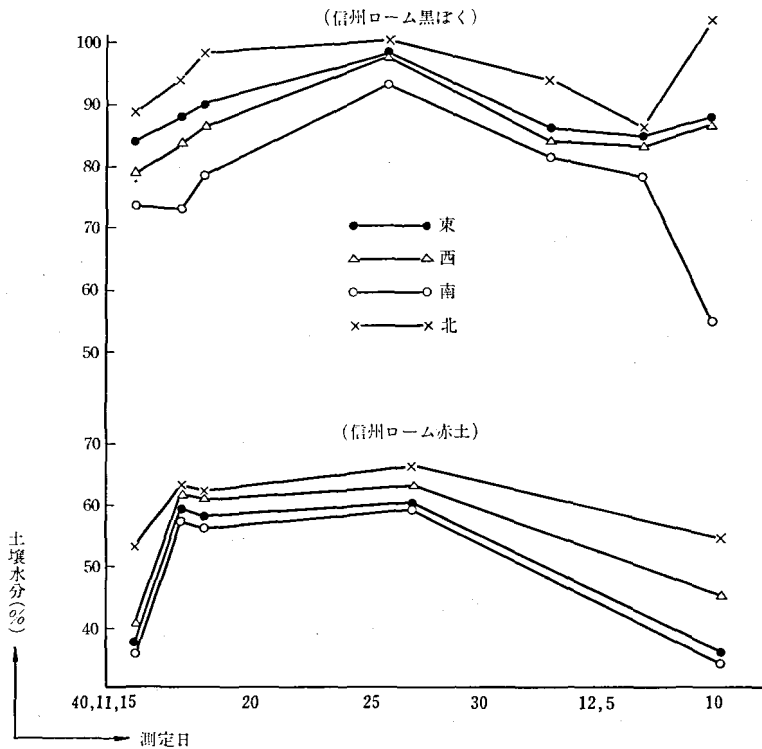


図Ⅲ—(5) 方位, 傾斜別斜面日射量



図Ⅲ—(6) 斜面の受ける日射量 (41.1.16 日照計)

ける気温の上昇と日射量の差に由来するふく射熱の多少によって、つぎの凍結時までには霜柱、凍上の原因になる土壌水分に大きな変化を生ずる。図Ⅲ—(5)、(6)は斜面の受ける日射量の差を示したものであり、図Ⅲ—(7)は斜面の土壌水分の変化を示したものである。このことによって霜柱、凍上侵食が斜面の方位によって異なる過程を説明することができる。すなわち図Ⅲ—(5)は方位と傾斜角度について日射量を理論的に計算したもので、南面と北面の極端な差を知ることができる。しかしながら東、西面は全く同じ値を示しており侵食量の差と結びつかないが、前述のとおり侵食量は日射の緩、急の差によっても異なるので図Ⅲ—(6)によって説明することができる。図Ⅲ—(6)は斜面における1日の日射量の変化を照度で示したものである。日の出とともに東面の日射量は多く、急激な融解をおこすが、西面では東面より時間的にかなり遅れる。反面、西面は西陽を受けるので日射量は東面より多く、そのために土壌水分は少なくなっている。図Ⅲ—(7)は斜面の地山の土壌水分の変化を示したものであるが、明確な差を示している。



図Ⅲ—(7) 方位別斜面の土壌水分

また表Ⅲ—(5)は浮土砂の含水量を示したものであり、前述のごとく南面では異状に乾燥していることを知ることができる。地山の土壌水分は南面が特に少なく、西、東、北面の順になっており、北面の土壌水分は著しく多く、常に最大容水量あるいはそれ以上の状態を保っている。土壌水分が少ないと霜柱、凍上量は少ないが侵食されやすい粒状凍結を起こすように

なり、また持ち上げられる土砂量が多いので侵食量が増大するのは当然である。図Ⅲ-4)において、北面の侵食量が2月27日に急激に増加しているが、これは異状な気象条件によるものであって、一般的には点線をたどるであろうことは容易に考えられることである。この年の2月末は暖冬異変といわれるような気温の高い日が続き、表Ⅲ-6)のごとく寒中には珍らしく降雨量が多く、北面においても凍結層表面の融解がかなり進み、その下にはなお凍結層を残していた。このような状態において2月27日に40.8mmの大雨が降ったため、過飽和状態の土砂が凍結層をすべり面にした地すべり現象を起して、一度に流出したものである。なおこのときの侵食量は60.1ton/haであった。この現象は一般的でないと考えられるが、気象条件の変動によっては当然予想されることで、侵食防止の上から重要な問題であると考えられる。

表Ⅲ-5) 浮土砂の含水量

測定日	斜面			
	東	西	南	北
40. 12. 3	80.2	66.7	32.8	101.0
7	88.5	87.3	56.5	148.0
8	85.2	37.6	23.1	108.0
10	74.8	60.3	31.1	106.0

絶乾土量に対する百分率

表Ⅲ-6) 1, 2月の気温と降水量

年 度	気 象	1 月			2 月		
		最 高	最 低	降 水 量	最 高	最 低	降 水 量
		昭和 35	4.8	-5.8	41.2	7.8	-5.4
36	3.4	-7.2	61.6	4.5	-6.2	16.7	
37	3.7	-7.5	13.6	6.6	-5.9	14.7	
38	0.8	-9.0	13.3	3.7	-9.8	23.5	
39	4.8	-5.6	109.0	2.9	-7.3	43.2	
40	4.6	-7.7	26.0	4.5	-6.8	34.5	
41	3.7	-7.8	31.2	8.7	-5.2	131.0	

1 月間平均温度

2 41.2.27の降水量40.8mm

切土斜面と盛土斜面との差違についてはつぎのようである。すなわち、霜柱、凍上現象が日の出とともに融解し侵食される初期の過程は切土斜面と変らないようであるが、つぎの凍結時までには切土斜面においては盛土斜面に比較して土壌水分の流通機構が良好であるので、下層土からの水分補給が行なわれ、南、東、西面に差を生じないため持ち上げ土砂量も変わらず、また浮土砂と地山の構造が全く別の状態になるので、霜柱、凍上によって持ち上げられた浮土砂は切土斜面の場合斜面の途中に残ることなく発生、融解のつど侵食され崩落してしまうからであると考えられる。

方位別の侵食量を月別に比較すると表Ⅲ-7), (8), (9)のとおりで、両者を比較するとその様子を知ることができる。月別の侵食量については先に述べたが、1, 2月の侵食量の差は

表Ⅲ—(7) 斜面の方位別，月別侵食量（盛土）

月	東		西		南		北	
	月間	1日	月間	1日	月間	1日	月間	1日
40—11	13.0	0.68	11.3	0.59	32.2	1.69	9.9	0.52
12	37.6	1.21	21.8	0.70	55.5	1.79	11.3	0.36
41—1	62.0	2.00	27.1	0.87	129.0	4.16	11.3	0.36
2	64.8	2.31	41.9	1.50	18.5	0.66	84.4	3.01
3	32.2	1.15	24.4	0.87	23.1	0.82	10.1	0.36
計	210	1.54	126	0.96	258	1.88	117	0.85
厚さ(cm)	3.2		1.9		3.9		1.8	

- 1 信州ローム黒ぼく，43°
- 2 斜面積180×45cmの侵食量を ton/ha に換算

表Ⅲ—(8) 斜面の方位別，月別侵食量（切土）

月	東		西		南		北	
	月間	1日	月間	1日	月間	1日	月間	1日
40—11	14.5	0.76	8.1	0.43	8.1	0.43	7.4	0.39
12	53.6	1.73	26.2	0.85	36.8	1.19	20.0	0.65
41—1	107.0	3.46	97.4	3.14	104.0	3.36	30.4	0.98
2	61.3	2.19	54.0	1.93	104.0	3.72	26.7	0.95
3	56.4	2.01	38.3	1.37	6.5	0.23	12.5	0.45
計	293	2.14	224	1.64	260	1.89	97	0.70
厚さ(cm)	4.4		3.4		3.9		1.5	

- 1 信州ローム黒ぼく，40°
- 2 斜面積50×150cmの侵食量を ton/ha に換算

表Ⅲ—(9) 方位別，傾斜角度別の侵食量

月	東				西				南				北			
	30	35	40	45	30	35	40	45	30	35	40	45	30	35	40	45
41—11	3.4	5.4	8.6	6.0	2.6	5.0	8.9	13.2	2.4	2.5	10.7	10.1	3.8	5.4	7.4	8.2
12	3.0	8.2	38.3	36.1	2.4	4.0	36.2	69.2	1.4	3.7	43.7	43.7	2.0	3.7	21.7	11.4
42—1	0.5	3.8	12.7	14.5	2.0	2.2	6.0	20.1	0.9	6.3	15.1	16.8	2.2	3.1	9.9	13.2
2	2.4	0.7	4.2	11.2	0.5	0.6	2.4	24.1	0.2	2.5	4.6	19.3	1.9	0.9	26.4	11.1
3	1.6	1.7	39.1	67.6	1.7	2.0	38.3	79.7	1.7	3.7	27.3	88.2	2.1	3.0	17.1	35.5
計	11	20	103	135	9	13	92	200	8	19	101	178	12	16	83	79

斜面積75×60cmの侵食量を ton/ha に換算

傾斜角をかえて測定した場合と、切土、盛土別あるいは方位別斜面について一定していないが、1月の盛土斜面において南面だけが著しく多い侵食量を記録したのに対し、切土斜面では南、東、西面の侵食量が多い。このことは切土斜面における侵食経過の特徴を示しているものである。また受食性の強い南面において、2、3月が他の斜面よりはるかに少ない侵食量を示しているのは早い時期に霜柱侵食を受けたので、後期には比較的安定した結果であると考えられる。従来記録によると、関東ロームの裸地斜面では霜柱、土壤凍結によって一冬30~50ton/ha、(侵食される平均の厚さにして0.4~0.7cmに相当する)の土壤が侵食されるといわれている⁹⁾。この侵食量と今回の実験の結果を比較するとかなりかけ離れた数値を示している。両者とも土質的にはロームでほぼ同様なものであると思われるが、斜面の傾斜角、積算温度の条件が明らかでないので明確な比較はできない。この差は主として当地における温度条件が関東地方より一層きびしいことが大きな原因になっていると考えられる。また傾斜角が自然傾斜角より急な斜面でも北面では非常に少ないし、自然傾斜角以上の裸地で日射の強い斜面では、150~300ton/ha(侵食の厚さにして2~4cm)の侵食量があったが、傾斜が急になると侵食量は加速度的に増大することが大きな原因になっている。

(3) 霜柱、凍上侵食防止工法

(i) 階段工

斜面全体としての状態によって霜柱、凍上侵食に差を生ずることについては前に触れたが、地表面の局所的な変化が霜柱、凍上侵食に影響する。一様な斜面に対して水平階段を設けることが土壤保全の面から優れており等高線耕作法¹⁷⁾、等高線濠法がすでに実績をあげているが、我国における急傾斜地帯の階段工についてはいまだ定説を得ていない。階段工そのものは法切工がそれだけで侵食防止工法として独立し得ないものであると同様に、植生工、植栽工を完成させるための補助手段と解すべきである。特に法切工、階段工を施工しても、霜柱、凍上期に入る前に何等かの被覆工を施工しないかぎり土壤侵食防止の機能を発揮させることはできない。階段工を施工しておいて、植生工を翌春に延期する場合があるが、階段工そのままでは却って霜柱、凍上侵食は著しい。すなわち斜面に階段が切られると霜柱、凍上を起こす裸地面を増加させるばかりでなく、斜面の途中に霜柱、凍上侵食を受けやすい急傾斜の部分を作り、更に階段肩、法尻を残すことになるからである。実験の結果は表Ⅲ-(10)のとおりで、このことを明らかにしている。この結果だけを比較すると、あるいは階段工施工斜面の方が侵食量の少ない斜面があるが、すでに階段は埋め戻されて一様な斜面にまで侵食されている状態を併せて考えると、この場合の階段工は効果がないばかりでなく却って障害となっている。本実験地の場合、斜面を構成する土砂の中に小砂利を多く含んでおり、霜柱、凍上のために持ち上げられて転落し受箱の中に入ったので、この傾向は一層強く観察された。しかしながらこのことは階段工の構造によっても著しく異なると考えられるので実験を進めている。

(ii) 筋工

山腹工の施工および斜面の構築などの公共事業は、施工時期の制約を受けるので植生工の施工適期がはずれる場合が多い。積雪が少ない寒冷地においては、北面を除く他の斜面が裸地のままで冬を越すことになると霜柱、凍上侵食を受けて斜面の損傷ばかりでなく、侵食土砂の崩落堆積によって構造物、施設の機能を失なうようになる。そのため霜柱、凍上侵食

表Ⅲ-(10) 地表面の状態と霜柱侵食量

測定日	斜面		南 東		北 西		南 東		北 東	
	法切	階段	法切	階段	法切	階段	法切	階段	法切	階段
40. 11. 13	0.13	0.19	0.10	0.12	0.11	0.15	0.20	0.16		
19	0.31	0.46	0.32	0.20	0.35	0.37	0.64	0.46		
28	0.84	0.96	0.54	0.46	1.25	1.07	1.17	1.15		
12. 7	1.53	1.62	1.10	1.96	2.23	2.01	—	—		
10	1.77	1.87	1.47	1.40	2.56	2.36	2.40	2.18		
15	2.03	2.31	1.78	1.74	2.96	2.76	2.71	2.25		
22	2.17	2.71	2.04	2.16	3.19	2.99	3.21	2.61		
41. 1. 7	3.14	4.09	—	—	5.12	4.74	—	—		

1 斜面積450×60cmの侵食量を ton/ha に換算

2 階段150cm間隔，幅25cm高さ10cm

3 信州ローム赤土，28° 36°

防止工法とその施工適期を明確にする必要がある。植生盤による工法は多くの実績を残しており，合理的な工法であると考えている。植生盤工法は最近，製造過程が複雑で，労力不足の折から難点が指摘され，人工芝の量産によってその利用が少なくなっているが，霜柱，凍上侵食防止工法としては合理的な工法であると考えている。ここでは野芝，植生盤を使用する被覆工についてはその適性が認められているので，筋工と斜面混播の一部について検討した。野芝，

表Ⅲ-(11) 筋工の施工時期別成績

種別	月	4 5 6 7 9					備考
		野芝	100	100	100	100	
人工芝		0	0	0	0	0	滑落
筋播		0	0	0	0	0	〃
混播		0	0	0	0	0	〃
萱筋		50.0	62.4	0.1	0	0	残存率

1 傾斜角38°，斜面長475cm，斜面幅140cm，南西

2 工種間隔，47.5cm

人工芝，萱株および雑草の種子を使用した筋工と斜面混播について，施工時期別の成績を調査した結果は表Ⅲ-(11)である。野芝を使用した筋工は，施工時期に対する要求度が少なく，いずれの時期——野芝の採取は施工時に行なったが，——においてもよい活着を示した。人工芝，雑草の種子の直播は，試験地の地形的，土質的条件から施工時の天候に著しい影響を受けるので，発芽，生育状況における月別の差はかならずしも顕著でなかった。

萱株については，4，5月以降の施工では活着率はきわめて不良であった。萱株は施工当日に採取したものを使用したのであるが，乾燥に対してきわめて弱い特性を示した。萱株の使用は広範囲に行なわれている割合に成功例が少なく，施工時期の選択に留意すべきである。一方，萱株の定着は斜面の安定に対して大きな効果を期待することができるので，種子による増殖を図るべきであると考えている。

霜柱、凍上侵食防止法としての筋工は、寒気のきびしい地方では植物体そのものを含めて凍上し、融解に際して滑落するため、侵食量が急激に増加する。この場合、土壤凍結、凍上をおこすようになるまでの寒冷初期においては、すなわち、霜柱侵食に対しては効果的であった。野芝を使用した筋工は、筋芝直下の裸地部分が侵食されてえぐられるようになったが、滑落は少なかった。人工芝は前述のように最近では広く使用されているが、本試験の結果では野芝に匹敵するほどの効果を認めることはできなかった。すなわち、北面については、霜柱の発生期間が短かく、また凍結、融解の繰り返しを受けることが少ないので、人工芝は凍結したままの状態でも越冬し、つぎの寒冷期までに十分に生育し、定着するようになるので、この意味からは利用価値を認めることができるが、その他の斜面における適期以降の施工では、根系の発達が不十分であるため、凍上侵食に対してはほとんど滑落した。したがって、施工適期と土質条件を考えた施工方法、例えば網工に準ずる工法、土木的工法との併用を考え、積極的に肥培管理を行なって寒冷期までに根系の発達を促進することが必要である。この場合土質条件が良好で施工時期が適切であれば斜面の緑化材料としては合理的であると考ええる。

表Ⅲ-1(2) 霜柱の発生を抑制する肥料の効果

処 理	土 壤		備 考
	信州ローム	黒ぼく	
N	大	小	尿 素
P	中	中	過 磷 酸
K	小	大	塩化加里
施 肥 量	N:無 P, K:顕著		K:無 P, N:顕著
施 肥 時 期	顕著ならず		

(イ) 施 肥

施肥による霜柱発生抑制効果は、表Ⅲ-1(2)のとおりである。信州ローム黒ぼくでは、窒素肥料を施用することによって寒冷初期の霜柱侵食を効果的に抑制した。磷酸がこれにつぎ、加里は無施肥区と比較して差は認められなかった。これに対して信州ローム赤土では全く逆の関係を示した。すなわち加里が顕著な抑制効果を示し、以下磷酸、窒素の順であった。これは土粒子の吸着性と肥料の溶解度に関係するものであろう。施肥量の差は前述のように土粒子の表面活性により特異性を示した。土壤水分の濃度が増して氷点降下をおこすことから当然の結果である。このことは、霜柱を発生しないで土壤凍結をおこす種類の土壤があり、土壤水の物理性から説明されるに対して、土壤水の化学性によるものである。しかしながら、霜柱の発生を抑制するには一般的施肥基準と比較して、きわめて多い肥料が必要であり、現実には霜柱の発生を抑制する役割は少ないと考える。したがって施肥による効果は直接的な抑制効果よりも、植生の肥培効果をあげる間接的な役割が大きいので、信州ロームのB層以下については積極的に施肥基準を考える必要がある。

IV 要 約

冬期寒気がきびしく、積雪の少ない地方では、霜柱、凍上侵食によって山腹、道路、堤防の斜面が侵食され、山腹工作物、路面が破壊され、洪水災害に伴う土砂流出の禍根になっている。霜柱、凍上侵食は一般的な土壌侵食の機構と別のメカニズムによって起ることを特徴としており、地形因子に大きく支配される。従来この問題に対する定量的な研究は進展していないが、昭和40年11月～昭和42年3月までの実験によってつぎの点が明らかになった。

(1) 霜柱、凍上侵食のメカニズム

霜柱、土壌凍結によって土砂が凍結し、融解してまた凍結するという現象がくり返されると、凍結土砂は凍結乾燥の過程を経過するので、地表面には異状に乾燥して、土粒子相互の附着力を失って細粒化された浮土砂が残る。浮土砂は凝集力を失い、自重によって崩落し、風によって飛散して侵食が進行する。冬期には降雨量が少ないので、地表流下水によって侵食される量は非常に少ない。

(2) 霜柱、凍上侵食に関係する地形因子

(i) 斜面の傾斜角

山腹斜面や、あるいは構築した斜面に対してその安定を図るために、勾配をその土地を構成する土砂の自然傾斜角以内にすることが要求されているが、霜柱、凍上侵食を受ける地方にあっては乾燥土砂の自然傾斜角以内にすることの必要性が痛感される。自然傾斜角以内の斜面でも裸地のままでは一冬期間に8～10ton/haの侵食量が測定された。これ以上では傾斜が増すごとに侵食量は加速度的に増大し、43°の斜面では318ton/ha（平均の厚さにして3.8cm）が侵食された。

(ii) 斜面長

斜面が乾燥土砂の自然傾斜角以上の場合には斜面長の増加は侵食量を著しく増大させるが、それ以下の場合には影響は少ない。斜面が乾燥土砂の自然傾斜角以下で同一傾斜ならば、斜面長よりむしろ斜面幅の大きい方が霜柱、凍上侵食量は多い。

(iii) 斜面の方位

霜柱、凍上侵食は積算温度、温度と日射量の多少に大きく支配される。したがって斜面の方位によって侵食量にきわめて顕著な差を生ずる。一般に盛土斜面より切土斜面の方が侵食量が多く、切土斜面では南、東、西面に多いが差は認められず、北面では非常に少ない。一方盛土斜面では南面が著しく侵食されやすく、東、西の順に侵食量は少なく、その差は切土斜面におけるより顕著である。北面については切土斜面と同様その他の3面に比較してはるかに少ない。この関係から僅かな遮へい物による影響がかなり顕著である。北面は融解期の気象条件によって積雪地帯におけるなだれ現象のように地すべりのように一度に多量の土砂が侵食される場合もある。

(3) 霜柱、凍上侵食防止工法

(i) 階段工

裸地のままで冬期間を経過する斜面は乾燥土砂の自然傾斜角まで侵食されてしまうことは通例である。したがって冬期に入る前に何らかの被覆工を完成させることが必要である。また地表面の変化、特に Concave slope か convex slope によって、あるいは局部的な凹凸に

よって侵食過程を異にする。したがって裸地斜面における水平階段工そのものは、霜柱、凍上侵食に対しては却って弱点になる場合が多い。

(四) 筋工

寒冷初期における霜柱侵食に対しては筋工の効果を認めることができる。しかし凍上侵食に対する抵抗力はかなり弱い。人工芝は土質条件が良好であれば適期施工による緑化工として合理的であるが、その効果は野芝に匹敵するものではない。

(五) 施肥

施肥による効果は3要素を同時に施用することが効果的であるが、植生の肥培効果をあげる間接的な役割が大きい。

V 結 言

実験斜面について霜柱、凍上侵食の実験を行なった。その間侵食の機構については地表流下水を主体にして侵食され、いわゆる土壌侵食機構とは別のメカニズムによって、裸地斜面が平面的に侵食されることを明らかにし、地形因子による侵食量を定量してその関係を把握し、自然傾斜角に関する考察も加えた。霜柱、凍上侵食を対象にして斜面の安定を図るためには、終局的には地表面を完全に被覆しなければならないことの必要性を痛感し、その第一歩として裸地斜面に関する地形因子を検討し、一般にいわれる安定斜面としての自然傾斜角は湿潤度のそれだけでなく、その土地を構成する土砂の細粒化された乾燥土の自然傾斜角を目安にすべきであることを強調した。また日射量の多少が大きな影響を及ぼすことから斜面の方位に関する実験を行ない、南面と北面の差を明確にした。したがってこの結果によると延長の長い道路、堤防等の斜面については両面とも画一に同じ勾配に仕上げることは不合理であると考えられる。

斜面の被覆が終局の目標であることは前に触れたが、この技術的問題については未解明の問題が残されており、進展させなければならないと考えている。

本実験の一部は、昭和42年度の文部省科学研究費によって行なったものである。

参 考 文 献

- 1) 菅野一郎 (1949) : 日本の黒色森林土に関する研究
- 2) 辰野良秋 (1961) : 霜柱による侵食の防止に関する実験的研究, 信州大学農学部演習林報告第3号
- 3) 四手井綱英 (1954) : 森林の寒害と凍害による崩壊について 信州治山輯録9
- 4) 倉田益二郎 (1957) : 霜柱による土砂崩落防止の研究 第67回日林講演集
- 5) 八代雄蔵 (1943) : 箱根附近の霜崩れについて, 森林治水試彙報19
- 6) 川口武雄 (1962) : 森林物理学
- 7) Post F. A. and Dreibelbis F. R. (1942) : Some Influences of Frost Penetration and Microclimate on The Water Relationships of Woodland, Pasture, and Cultivated Soils.
- 8) 日本治山治水協会編 (1957) : 関東地方荒廃山地の霜柱凍結防止工に関する研究
- 9) 諸戸北郎 (1935) : 諸戸砂防工学
- 10) 荻原貞夫・福田次郎 (1937) : 砂防工事及林道
- 11) 原 勝 (1950) : 砂防造林
- 12) 伏谷伊一 (1951) : 砂防工学原論
- 13) 浦井春雄 (1952) : 実践治山工
- 14) 田村義男 (1953) : 実践砂防議義
- 15) 遠藤隆一 (1958) : 砂防工学
- 16) 倉田益二郎 (1963) : 緑化工概論
- 17) 江川了・任田新治 (1957) : アメリカの土壤保全 海外農業生産性視察団報告5
- 18) 岡上正夫 (1957) : 斜面の受ける日射量を求める簡単な方法 日林誌39巻2号
- 19) ——・牧村 翠 (1958) : 任意の斜面が受ける日射量の計算方法について 日林誌40巻1号
- 20) 新田伸三・小橋澄治 (1968) : 土木工事のり面保護工

On the Erosion Control caused by frost Heaving for Hillside works.

— About the factors influence of volume of soil erosion. —

By Yoshiaki TATSUNO and Teruo HORIUCHI

Summary

The mechanism of soil erosion caused by frost heaving is different from that which is usually credited, and that's actions are very violent.

This paper is observation on the frost actions between from 1966.11 to 1968.3, the results are summarized as follows:

(1) Mechanism of soil erosion

The soil on the slope lose cohesion and adhesion, since the ground surface of slope are subjected repetitional actions "freezing and thawing", dried up by principle of lyophilization, and then fall down.

(2) Topographical factors influence of soil erosion

(a) Soil erosion caused by frost heaving show activity on even slope under the angle of repose which is generally settled and as slope is steep that's volume increased with in proportion a geometrical progression.

(b) Volume of soil erosion increased with the slope length become long on above the angle of repose, but effects of slope length decreased under the angle of repose.

(c) Volume of soil erosion for one winter reason running was least repeatedly found out on the north slope and it's frequencies increased in order of the south, the east and the west slope.

(3) Works for soil erosion

The most effective method was to cover the ground surface with mulches as straw and vegetation etc. to intercept the themic and dry condition.