

降雨による地表流砂量についての一考察

文部教官 藤田 寿雄・文部技官 中川 止

Hisao FUJITA and Todome NAKAGAWA

An Observation on Soil Surface Erosion by Rainfall

I ま え が き

本試験は昭和26年より林内地表流砂試験として開始され、37年4月まで約10年に亘り行なわれたものであるが、後述のように林内地表流砂試験の目的としてはいささか不備の点もあったため、表記の報告として該試験案終了のまとめに代えることにした。試験観測の実行は中川が、資料の取りまとめは藤田があたった。

地表流砂量に関する実験は内外を問わず数多くなされていて、愛知演習林内においても同様の方法による試験が2, 3 実行されており、そのうち一つは既に報告され¹⁾、一つは近々報告される予定である。

土壌侵蝕量に関する実験公式としては様々なものが、J. H. Neal や R. E. Horton 等によって提起されている²⁾が、いずれも極めて室内実験的なもので、自然状態での観測データをこれに適合させることは、いろいろな条件を模型的に整理した上でなければ難しい。流砂量の性格を定める実験公式を自然状態の条件下に求めることは、関連因子の相互の組合せの複雑さ³⁾や測定方法の制限などにより、理論的な裏付けまたは統計学的な相関性を見出すことによって、その意義を確立しながら実験を進めていくのは困難なことであるので、必然的に普遍性のないものになり易い。

特に本試験のように一般に行なわれている山腹斜面を利用した可成り大きなプロットを作製するものでは、降雨強度、凍上降霜など気象因子、リルからガリーの発達のような地形因子に、斜面長の影響が加わって極めて複雑な現象を呈することになる。またこのような大試験地からの流砂量は時として多量であって、室内実験の際に行なわれる流砂量の重量による測定を適用しようとしても、土砂集積の労苦の大きいこと、乾燥に要する手数・時間測定に要する秤などの現場への運搬等の困難により、現場での重量測定は無理であるため、粗雑な結果を予想し得るのであるが、体積による観測を余儀なくされる。従って厳密な測定を行なおうとすれば、測定毎に密度・比重含水量等の実験をも必要とし、ますます複雑になるが、土砂量の多いことや、いくらか

の土砂は受桝より完全にとり切れないなどのことから、ある程度の誤差は許されるであろうから、精密な測定を行なってはいない。

もし、今後気象要素などの観測が精密になりそれに伴って、土砂量の測定に厳密さを要求されるようになれば、流下土砂の確実な収納方法の考案と共に、重量測定が採用されなければならないであろう。

II 試験地の概要及試験方法

試験地は、東京大学愛知演習林東山地内の花崗岩深層風化帯で、北西向き傾斜約25度の山腹斜面に禿緒地および有林地の2カ所を選び、幅5m、斜面長10mの矩形プロットを1コずつ設けた。地表面を荒すことなく区劃の木枠を設置し、斜面下方に流出土砂の受桝を作り、流下水は小孔を通して流去せしめるようにしたが、微細な土壌粒子のある程度の損失を生ずることはやむを得ない。写真1に見られるように、自然状態は破壊されることなく保存されているため、斜面上

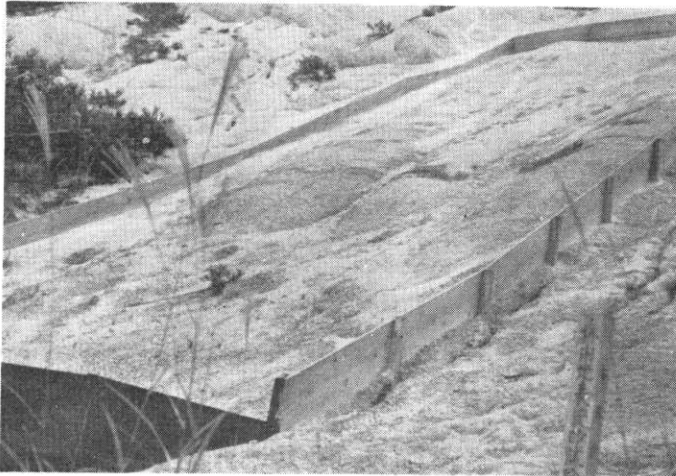


写真1 禿緒地(昭和29年11月)

のいくらかの起伏と雨裂はそのまま残っているが、試験地設定のために法切などを行なった場合に生ずる浮土砂等の原因による極端な実験開始時のデータの混乱は少なかったものと思われる。またこの地帯での禿緒地への植生侵入は殆んどなく、常に同様の表層状態を保ってきたとみてよいであろう。

測定は当初は毎降雨後に実行され、後に強雨があった場合を除いては毎月末に測定を行ってきた。斜面を流下して受桝内に得られた沈積土砂を桝内にて寄せ集めてその体積を測り、少量の場合は他の小容器に移して行なった。土砂の移動攪乱により測定は各回によってかなりの誤差が予想されるので、100ccを単位として採用し、以下を四捨五入とした。侵蝕に対しての最大要因となると思われる雨量は、東山量水観測所露場の自記記録を使用した。近いので微気象を問題とするのではないから充分である。

III 試験の結果

i) 林内

当初の目的では禿緒地と林内地表との比較をすることが第一であったが、選ばれた試験地は当

地域としてはかなり良い植生を持っており、少数の赤松を上木とし、低木に種々の灌木を有して殆んどウツ閉しており、前項に述べたように自然状態の保存を旨とした結果、地表の落葉等の地被物には全く手を着けずに試験地が設定された。しかるに愛知演習林内の第三紀層での試験²⁾によれば、表層土壌の移動を妨げるような地被物が生成されれば地表流砂量は激減し、さらに落葉等の堆積を生ずれば殆んど皆無になるとしている。即ち、雨滴の衝撃力を地被物が吸収する結果、土壌粒子の結合の破壊攪乱現象をなくするため、相当量の流下水がなければ流砂現象を起こすには至らない。もちろん第三紀層礫層と粒子の細かい花崗岩地帯の侵蝕過程は異なるであろうが、裸地での差は当然としても、地被の効果に差異があるとは思われないから、当試験地に於て侵蝕土砂が得られなかったのもまた当然である。もし流砂量がいづらかあったとしても、それは型枠や受桝設置の際に動かされた最下部の枠に近い個所からのものにすぎないと想像に難くない。この結果は予想されたことであつたろうが、改めて地被物の効果、森林が地表侵蝕に対して有効であつたという裏付けを得たといつては大仰になるかも知れないが、落葉層下の流水によつても全く侵蝕がなかつたと推定されるのは新たな関心を引く。少量の弱い水流よりも、まず雨滴の衝撃力が論議されている³⁾のは当を得ている。それゆゑ裸地と林内の比較については、裸地の雨滴に対して林地の枝葉の滴下水の侵蝕を見ることが適当であつたろう。特に年々の経過の変化を対比するのであつたら、少くとも林内被覆物の削除程度の手を加えて、表面を裸地状として林外の地況と同条件にし、林内地被の回復と共に変化する流砂量を裸地と比較すべきであつたと思われる。

ii) 林外禿地

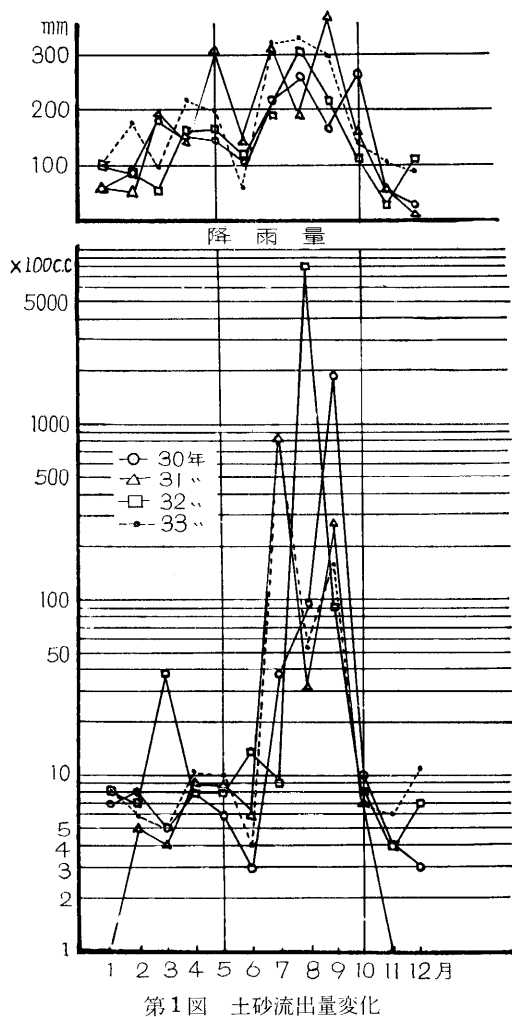
得られた結果を第1表に示す。地表侵蝕に対しての最大の要因は降雨であることはいうまでもないが、降雨量と侵蝕量との関連については判然とした相関は求め難い。この両者の間に介入してくるものには、冬期の凍上霜柱による落剝、降雨強度・時間、斜面長に応じた流下時間、地表含水量等々とさまざまな形をとっているため、各因子が表現する次元が劃一的にならず、唯一式をもつて侵蝕公式を得ようとするのは困難であり、一方多数の式をもつてこれをやろうとしても煩雑になるばかりで、実用の意図から離れてしまう。さし当って現在これ等因子をもつとした理論的な解明による数式もないために、この報告でも単に降雨量を主体に考えた結果の記述に終らざるを得ない。

当花崗岩裸地では、表面より10~20 cmは風化を受けた砂で粒子の相互の結合は殆んどない。それより下層はいわゆる深層風化層で外気象に曝されなければ堅い岩といつても良いもので、母岩となっているものである。この母岩の砂粒状への風化は露出されてから1年を経れば5~10 cmの深さに至り、それ以後の風化は少ない。故に当試験地での地表は表層が流されても、その後に生ずる地表面は事前のそれと大差なく常に同様の容相を保っている。

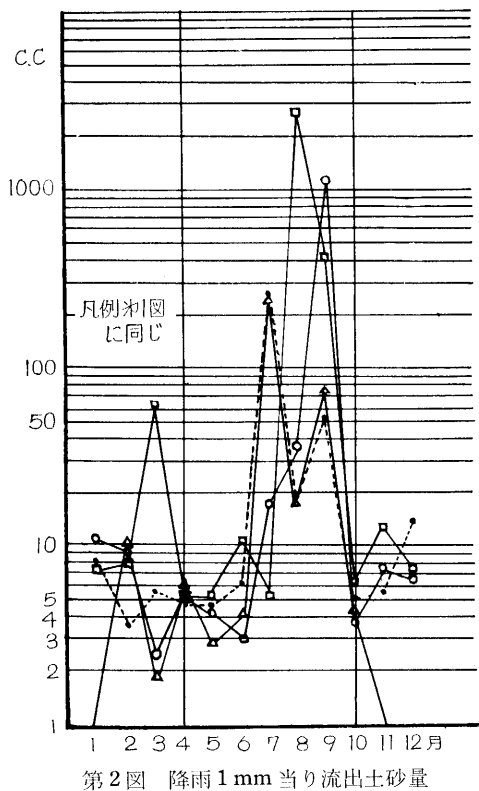
年間の流砂量の変化を数年のものについて図示すれば第1図のようになる。土砂流出量の多少

第1表 月別雨量及流出土砂量

年	月	雨量 mm	流出土砂量 ×100cc	年	月	雨量 mm	流出土砂量 ×100cc	年	月	雨量 mm	流出土砂量 ×100cc
26	7	317.1	1600	30	4	159.3	8	34	1	105.2	8
	8	104.8			5	141.7	6		2	175.5	6
	9	181.0			6	103.5	3		3	96.8	5
	10	74.8			7	211.5	38		4	225.2	11
	11	205.1	4		8	252.7	94		5	199.4	10
27	12	102.9		31	9	160.5	1895	35	6	67.6	4
	1	99.4			10	258.5	10		7	324.8	812
	2	76.4			11	58.0	4		8	334.8	53
	3	146.9			12	49.2	3		9	292.4	156
	4	161.3			1	58.5			10	139.0	7
	5	185.4	16		2	50.3	5		11	107.3	6
	6	331.2	27		3	197.0	4		12	88.4	12
	7	573.1	278		4	146.7	9		1	55.7	11
	8	60.5			5	312.1	9		2	19.6	9
	9	241.2	72		6	147.5	6		3	85.0	25
	10	162.4	3		7	322.3	802		4	141.7	11
	11	97.1			8	187.9	32		5	244.0	12
28	12	32.6		32	9	363.0	272	36	6	156.1	6
	1	72.3			10	161.7	7		7	162.3	
	2	43.0	17		11	55.2			8	342.8	393
	3	201.3	22		12	16.1			9	168.7	710
	4	38.9	19		1				10	120.6	
	5	218.2	8		2				11	111.5	6
	6	362.1	50		3				12	44.5	2
	7	445.6	770		4				1	74.0	6
	8	265.3	47		5				2	40.4	4
	9	304.5	7600		6				3	96.5	6
	10	101.6			7				4	179.1	16
	11	30.8	8		8				5	179.9	6
29	12	52.6	3	33	9			37	6	644.2	101
	1	98.0			10				7	145.1	35
	2	95.8	10		11				8	69.2	12
	3	86.6	12		12				9	118.4	61
	4	194.5	14		1	105.6	8		10	167.7	43
	5	178.4	7		2	87.8	7		11	82.5	27
	6	392.9	16		3	61.2	39		12	30.5	2
	7	187.9	9		4	150.7	8		1	32.9	3
	8	193.0	12		5	155.1	8		2	14.7	8
	9	363.7	20		6	131.9	14		3	52.8	18
	10	72.8	6		7	183.8	9		4	221.4	17
	30	11	97.7		2	34	8		300.9	8000	35
12		61.8	3	9	223.8		900				
1		59.6	7	10	134.6		8				
2		82.5	8	11	31.1		4				
3		176.9	5	12	100.6		7				



第1図 土砂流出量変化



第2図 降雨1mm当り流出土砂量

は極端な数値で現われるので半対数方眼を使用したか、この流砂をもたらした降雨量のグラフは普通方眼である。

雨量の多少が必ずしも土砂量の多少に平行しないことはこれによっても明らかで、特に33年と34年の8月を較べてみれば明瞭で、第2図に示すように降雨量1mm当りの流出量に換算してグラフしたものをみても傾向は同様で、降雨強度因子を何らかの形で加え得ればその差は縮まろう。従って各月毎に降雨量と土砂量のグラフをとってみても、両者の間には相関は殆んどみられずわずかに6月、8月が半対数方眼紙上でほぼ直線的な関係をみせるだけである。このようなバラツキの多い数値を平均してみても、ある点からみれば無理であるかも知れないが、おおよその各月の特徴のようなものを知るためにも、また1年を通じての流砂の動きの大勢を得るためにも参考となると思うので、昭和27年~36年まで9年間(32年欠測)の各月毎の平均値による年間変化を第2表と第3図に示した。

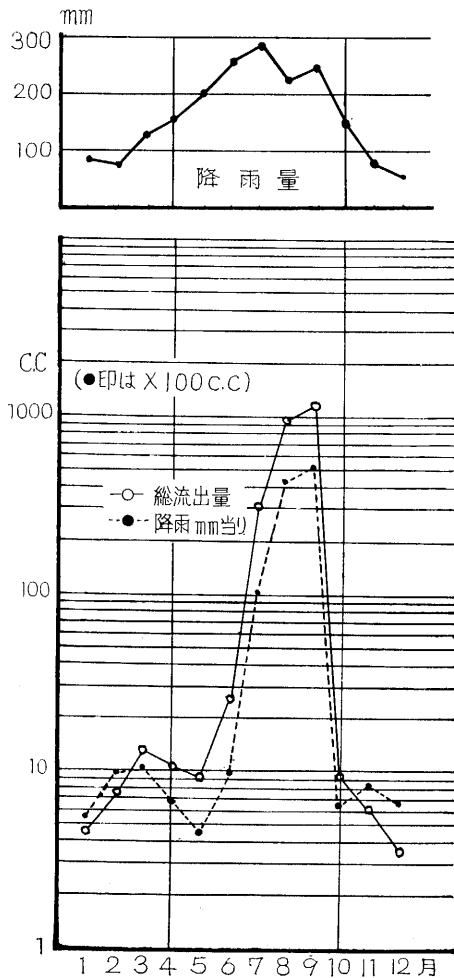
第3図によれば、年間の変化はいくらか具体化してくるが、特に注目されるのはピークを2回生ずることで、8月9月にかけての最大流砂量については台風期でもあるし容易に理解され、一方3月頃のピークは冬期の凍霜による地表の不安定部分をこの期の降雨によって受淋にまで流下せしめるものであると思量される。降雨量としては4月、5月の方が大きいし、また三原氏によれば³⁾ 4月～5月の雨滴の衝撃エネルギー量は降雨量に比べてかなり大きいことが知られているので、3月の侵蝕土砂量の多さは冬期の降雨によらぬ侵蝕現象の一端を示しているともいえる。特に1mm当りの流砂量をみれば、6月の侵蝕能力に匹敵し、降雨強度が6月は小さいとはいっても降雨量が2倍以上であることも考えに入れば、3月の地表状況が予想されよう。3月に不安定な浮土砂が流される結果、4月～6月は比較的多量の降雨にも関わらず冬期とさして変らぬ流砂量であるが、この中間期ともいうべき時期は、次の台風期に流下される土砂を生産する準備期間ともみられ、28年6月、31年5月の如く300mm以上の降雨によってさへも、得られた土砂量は過少といっても差支えない程度である。

同様のことは各年夏期の豪雨後の月についても考えられ、27年10月、28年10月、30年10月、31年8月、33年10月、34年8月、35年10月等はその典型を示し、前月の多量流砂によって当月流出のための浮土砂が激減のため準備期間となったものである。それ故当然のことながら、その月の降雨が直

第2表 昭和27年～36年各月別平均

月	降雨平均 mm	平均流出土砂 cc	降雨1mm当り 流出土砂 cc
1	80.9	444	5.5
2	74.6	733	9.8
3	127.6	1322	10.4
4	155.3	1067	6.9
5	201.6	911	4.5
6	259.6	2522	9.7
7	284.0	30589	107.7
8	223.0	96033	430.6
9	248.0	129844	522.6
10	146.5	933	6.4
11	74.6	633	8.5
12	52.9	355	6.7

注：32年を除く9年間の平均



第3図 平均土砂総流出量と降雨1mm当り流出量

接流砂生産に関与しなかったとはいえ、一方からみれば次回流砂に対しての非常に重要な因子となっていることは明らかであり、それだけに降雨と地表侵蝕量の関係は複雑化する。このため一降雨を単位とした流砂量測定値はその降雨の性質を具現しているとはいえ、また1カ月を単位として比較しようとしても、前月の降雨の影響が大きいことからみれば、ただ単に降雨のみをもって1年を通して一率に流砂状況を説明しようとするのは非常に危険で、時間をも導入せねばならないことが再認識される。そこでさし当ってごく大づかみに凍上乾燥のような季節的な重みを加えた長い期間をとりあげて流砂状況の特徴をみるのもやむを得ないので、仮に下記のように4期に分けてみた。

- 1) 凍上降霜季 12.1.2月
- 2) 凍上および霜の融解による侵蝕季 3.4.5月
- 3) 豪雨侵蝕季 6.7.8.9月
- 4) 地表安定期 10.11月

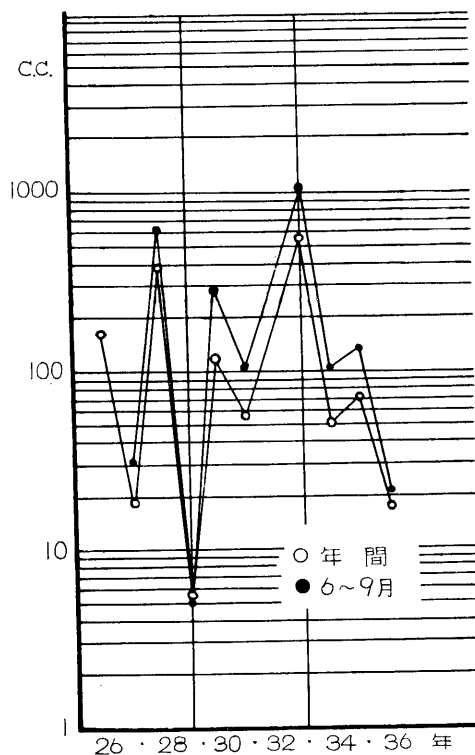
第3表 昭和27年～36年夏季(6月～9月) 雨量及流出土砂量の対年間割合

年	雨量		流出土砂		降雨1mm 当り流出 土砂 cc
	mm	%	cc	%	
27	1206.0	55.6	37700	95.2	31.3
28	1377.5	64.5	846700	99.1	614.7
29	1137.5	56.2	5700	51.0	5.0
30	728.2	42.5	203000	97.6	278.8
31	1020.7	50.6	111200	97.0	108.9
33	840.4	50.4	892300	99.0	1061.8
34	1019.6	47.3	102500	94.0	100.5
35	829.9	50.2	110900	93.7	133.7
36	976.9	53.5	20900	65.5	21.4

第1表によっても明らかな通り、侵蝕土砂はこのうち第3季に集中して年間のほぼ90%を生産しており、その年の侵蝕の傾向を指向するのはこの季の生産量によって代表されるとみてよい。6月～9月を年間の

第4表 各年別雨量及流出土砂量

年	雨量	流出土砂	雨量1mm 当り流出 土砂量	流出 土砂高	備考
	mm	cc	cc	mm	
26	985.7	160400	162.7	3.21	7月以降
27	2167.5	39600	18.3	0.79	
28	2136.2	854300	399.9	17.09	
29	2023.1	11200	5.5	0.22	
30	1713.9	208100	121.4	4.16	
31	2018.3	114600	56.8	2.29	
32					欠測
33	1667.1	901300	540.6	18.03	
34	2156.4	109000	50.5	2.18	
35	1652.5	118000	71.7	2.37	
36	1827.5	31900	17.4	0.64	
37	321.8	4500			4月まで



第4図 降雨1mm当り流出土砂量の年間、6～9月比較

雨量，土砂に対して表示すると第3表のようになる。特に，この季の降雨量は豪雨季といっても約50%をもたらすだけであるから，侵蝕土砂の大部分をこの間に生産するには降雨強度因子の係数を求め得るとすれば10倍に近い値となるであろう。従って降雨1 mm 当りの生産土砂は，年間の能力を遙かに越えていることが第4図によって知られる。

年間の総流砂量をまとめたものが第4表に示される。概して大量の流砂のあった翌年は生産量が激減する傾向は，月別変化の際にみられた準備期間と同様の性格のものであろう。この10年間の記録から憶測すれば，極めて多量の土砂を得る年は3～4年に一度となりそうで，もし37年・38年夏期に台風の襲来が多くあったと仮定すれば，28年・33年程度の生産土砂があることも考えられる。

年間の流砂量を面積50 m²にて除して高さの単位に換算して第4表の4項に示した。全面積に対する平均侵蝕量の指標とするのであるが，一般山岳地帯での侵蝕高が年間1～2 mm 程度であるとすれば，28年・33年の侵蝕量は極めて大きく，裸地状地域の表面侵蝕が無視できないことが理解できる。もちろん一流域を問題とすればこのような極端な値を生じないであろうが，花崗岩深層風化帯に於ては4～5年の周期をもって裸地状地区よりの表層侵蝕激しく，下方に堆砂し年々下流への流砂の源となる。試験区では10年間の平均にしても5.31 mm で激しい侵蝕といえるし，連年の侵蝕によって安定状態に近付くということがないのが特色で，それだけに一定の方式でこの性質をいい現わすことが不可能であって，周期的に多量土砂を生産して表層を移動し，被覆物となるべき雑草木の侵入を難しくする。第三紀礫層では裸地状部分でも礫によるペイズメントを形成して，地表侵蝕は年々減少し，被覆物の侵入がなくとも表層の移動はある程度の落ちつきをみせ，豪雨によってガリーの発生をみなければ，この程度の試験区に於ては流砂は殆んどなくなることが示されている。

本試験区では，風化砂層の深いこと，均一的な粒子であるなどのことから，降雨が全面的に浸透する結果，水路が大きく発達することが少なく，ガリーが深く刻まれることも少なかった代り，ペイズメント状のものの発達はみられず今後も同様の侵蝕が繰返されることが予想される。

未筆ながら御指導，御注意頂いた砂防工学教室荻原教授，野口助教授両先生に深く感謝する。

参 考 文 献

- 1) 中島主一・塚本良則・藤田寿雄：各種山腹工の効果に関する研究，演習林，第14号，昭和37年
- 2) Baver: Soil Physics, 1948
- 3) 三原義秋・矢吹万寿：降雨の土壤侵蝕に関する研究，農業気象，第5巻，第3号
- 4) 倉田益二郎：緑化工概論，昭和34年
- 5) 田中茂：急斜面の土壤侵蝕の実験的研究，土木学会誌，昭和27年

Abstract

The observation was continued from June, 1951 to April, 1962 in the experimental woodland in the efflorescent granite region of the Tokyo University Forest in Aichi Prefecture. Two plots were made, and the surfaces were remained natural. One of them was on a bare granite hillside and the other on a slope covered by some bushes and dead foliage. Each plot was of 50 m² (5×10 m) in area, 25° in slope gradient and with a wooden box for measurement of eroded soil.

There were no eroded soil in the latter plot, because the mantle on the surface had an effect of diminishing the energy of impact of rain drops, so the soil surface had been protected from disturbance by rain fall. On the other hand, on the bare plot the soil surface was exposed to rain, wind, frost and sunshine, and then had no protection to weathering, so that this plot produced a good quantity of sand. The deposit in the box had been measured in volume (c.c.) after every precipitation in the first several years and then in later years at the end of every month. When the quantity of eroded soil was expressed in terms of height, the converted value in average per year was 5.31 mm in this experiment. Most of eroded soil was concentrated in those four months, June, July, August and September, which included the typhoon season in Japan and rain fall intensity was more fierce in this season than the others.

Because of many factors affecting the amount of eroded soil, the gained data seem to have no regularity in the mutual relation between the amount of eroded soil and that of precipitation or the intensity of rain fall. There must be other complicated factors in this relation.