

# 赤城山山崩に關する研究

Takeo KAWAGUCHI, Ryuji WATANABE, Kiyoshi TAKIGUCHI:  
Study of landslides on Mt. Akagi.

農林技官 川 口 武 雄  
農林技官 渡 邊 隆 司  
農林技官 瀧 口 喜 代 志

## 目 次

|                            |    |
|----------------------------|----|
| I 緒 言.....                 | 12 |
| II 実態調査.....               | 13 |
| 1. 調査区域及び調査方法.....         | 13 |
| 2. 赤城山の地質, 土壤, 地表植物.....   | 13 |
| 3. 崩 壊 地.....              | 14 |
| (1) 崩壊地の長さ, 幅, 厚さ, 傾斜..... | 22 |
| (2) 崩壊形状, 位置.....          | 24 |
| (3) 崩壊地の面積, 体積.....        | 25 |
| (4) 地形と崩壊の關係.....          | 25 |
| (5) 森林と崩壊の關係.....          | 30 |
| 4. 土 石 流.....              | 33 |
| (1) 土石流と崩壊の關係.....         | 33 |
| (2) 土石流の速度.....            | 33 |
| (3) 土石流の掃流力.....           | 34 |
| (4) 土石流及び其の通過跡の状況.....     | 35 |
| (5) 土石流と森林の關係.....         | 37 |
| 5. 流出土砂量.....              | 38 |
| 6. 土 柱.....                | 40 |
| 7. 溪床変化.....               | 40 |
| 8. 調査地別所見.....             | 43 |
| III 土質試験.....              | 46 |
| 1. 剪断試験.....               | 48 |
| 2. 透水度試験.....              | 49 |
| 3. 流出限界試験.....             | 52 |
| 4. 耐水度試験.....              | 53 |
| IV 災害の原因.....              | 54 |
| 1. 天然素因.....               | 54 |
| 2. 天然誘因.....               | 55 |
| 3. 人工誘因.....               | 56 |
| 4. 綜 合.....                | 57 |

|                           |    |
|---------------------------|----|
| V 災害防止方法及び復旧方法に対する考察..... | 57 |
| 1. 崩壊防止.....              | 57 |
| 2. 崩壊土砂流出防止.....          | 58 |
| 3. 溪床安定.....              | 59 |
| 4. 土石流防止.....             | 59 |
| 5. 表土侵蝕防止.....            | 61 |
| 6. 復旧方法.....              | 61 |
| 7. 綜 合.....               | 63 |
| VI 要 約.....               | 64 |
| VII 結 言.....              | 65 |

## I 緒 言

戦時中極端な土地の高度利用を図つた為、国土は自然の相を無視した取扱を受け、山河は荒廃し全く疲れきつた状態で大雨があればたちまち氾濫の危険に曝されている処が少なくない。昭和22年7、8月秋田、山形地方を襲つた豪雨により大水害を惹起し、次いで9月14、15日の両日関東を襲つたカスリン台風により群馬県下に豪雨があり赤城山に大規模の崩壊(写真1)、土石流を生じ、河川上流の山間部はもとより、中流平坦部、下流低地部に大惨害を被つたが、23年のアイオン台風により更に相貌に変化を加えた。

一度此の様な災害に会つと河川改修、治山事業、造林事業の必要性が強調されるが、山崩の実態、機構及び地形、地質、林相、河相等を無視したありきたりの工事、復旧方法は徒らに資金資材の出費に終るだけで、治山原理そのものは一貫しているが現地現地に応じて夫々異なる手段が選ばれなければならぬ。かゝる意味から崩壊地の実態調査、土質試験の資料は今迄の経験に一步を進めた参考資料として災害防止、復旧の基礎となり又次代の災害対策の万全を期す一助となるので、昭和22年1月より25年8月に亘り赤城山周辺に現地調査を行い、又採取試料の土質試験を研究室に於いて行つた。

経費、人員の不足及び実験器械の不足から研究成果を得るのに予期以上長期間を要し、成果発表の時期はいさゝか機を失した感があるが、其の半面溪床変化、災害跡地の進入植生を掴み得た点もあるので取敢えず結果を取纏め参考に供する次第である。尙赤城山の災害に関しては筆者等林業試験場員が多数参加した「カスリン台風の研究」調査報告書<sup>1)</sup>が群馬県より出版されているので、本報告には出来るだけ之との重複を避けたので、両者を併せ参考とされたい。

本研究に当り種々御援助を頂いた当時の前橋営林局川田経営部長、石井計画課長、小暮技官、猪股技官、森田課員、前橋営林署金沢署長、伊藤土木課長、大間々営林署百瀬署長、林経営課長、群馬県林務部星部長、田村治山課長、長谷川技師、青木技師其の他関係諸氏に深甚の謝意を表するものである。

又現地調査に参加援助された地質研究室宇佐美技官、理水研究室中野技官、佐藤助手及び土

質試験の中透湿度試験担当の東大農学部山口伊佐夫氏、流出限界試験担当の葦沢助手、耐水試験担当の山崎助手の労に厚く謝する次第である。

## Ⅱ 實態調査

### 1. 調査区域及び調査方法

調査区域は次の如くである。(附図1参照) 群馬県勢多郡黒保根村梨木沢上流、粕川村粕川上流不動滝地域、宮城村荒砥川上流湯の沢地域、敷島村沼尾川上流前入沢、後入沢地域、利根郡赤城根村砂川上流大洞、二本楯地域である。

調査方法は崩壊の規模、機構を知る上の要素として、崩壊地の長さ、幅、厚さは布巻尺及び考案した距離計(可測 100m, 精度  $\frac{1}{30}$ )を用いて実測し、方位、傾斜はクリノメーター、ハンドレベルで実測し、平面形、断面形は見取により略図を記した。但し実測不能の場合は目測又は欠測とした。又環境因子として林相、地表状態、地質、土壌の状況を調査した。

カスリン台風前後の溪床の変化を調べる為、梨木沢支沢のしげりたち、へつたま、かけどやの3支沢をポケットコンパスによる縦断測量を行つた。

尙調査区域中 11 ケ所で土質試験用の土壌試料を採集した。

### 2. 赤城山の地質、土壌、地表植物

赤城山の地質に関しては宇佐美氏の報告<sup>2)</sup>があるので、詳細を之に譲り要点を簡略に述べると、赤城山はコニーデ型の二重式複火山で有史以前にその活動は休止し、多年風雨の作用で山体の脆張な部分は剝磨され複雑な地形となつている。その山体を構成している岩石は集塊岩、熔岩、凝灰岩、火山灰、岩脈等で主に複輝石安山岩に属している。地質分布は附図2の如くである。赤城山の基底をなす岩石には古生層、第三紀層があり、古生層は砂岩、頁岩より成り花見原東北方、不動滝附近、大洞水目沢附近、砂川・根利川・片品川合流附近に少部分露出している。第三紀層は主に凝灰岩より成つている。

赤城山の火山活動は第三紀層の堆積後始められ、前記各種の岩石を逐次噴出し、最初集塊岩が主となり次いで熔岩が噴出し、外輪山完成後第二の火山活動の時期に入り、地藏山の中央火口丘や小沼寄生火山を生じている。火山岩屑、崖錐等は洪積層及び沖積層をなし、主に溪谷や裾野に分布している。

基岩の上層に堆積する噴火当時の火山灰、浮石土、砂礫は極めて厚く、表土は結合力に乏しく往年より豪雨により崩壊を繰返し、大雨時、融雪時、空風時に崩壊跡地や周辺の砂礫を多量に崩落し益々拡大の一途を辿つていた時に、今回の未曾有の大雨により山体一面の崩壊、土石流を生じたものである。凝灰質集塊岩、浮石土等は崩壊が多いが、古生層の硬砂岩の急峻な岩壁では所謂 rock fall を起すものが多く崖下に小角礫の崖錐を形成するものが多い。

赤城山の植生に関しては坂口氏の報告<sup>3)</sup>があるので、之も要点を簡略に述べると、天然的に



針葉樹の分布は極めて少く頂上附近にコメツガ、ウラジロモミ、ヒメコマツ等が僅かに点在する程度で、人工林としてはスギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツ等がある。天然広葉樹林は30年生位のものが多く、中には60年生に及ぶものもあり、クリ、ナラ、ブナ、ヤシヤブシ、カエデ等で、地床には矮生のツツジ、ササ等がある。根の状態は針葉樹では深さ1.2m程度のスギ等が見られたが、広葉樹ではすべて0.3~0.4m程度で極めて浅かった。

### 3. 崩壊地

崩壊地の分布図は附図1の如くである。調査区域外で本図には記入していないが、他に例えば富士見村の如く崩壊地が相当密集している地域も見受けられた。

崩壊地の精密調査を行つた結果は第1表の如くである。

第 1 表

| 番号 | 長さ<br>m | 幅<br>m | 厚さ<br>m | 傾斜<br>前° | 傾斜<br>後° | 面積<br>a | 体積<br>m³ | 方位<br>角° | 土 壤        | 地質         | 地表状態               | 形 状 | 備考                                   |
|----|---------|--------|---------|----------|----------|---------|----------|----------|------------|------------|--------------------|-----|--------------------------------------|
| 1  | 26      | 15     | 6.3     | 30       | 25       | 6.32    | 1286     | 47       | 礫交り<br>砂土  | 凝灰質<br>集塊岩 | 落葉広葉樹<br>(15—20年生) |     | 樹根深さ<br>30cm                         |
| 2  | 70      | 20     | 7.1     | 25       | 28       | 13.05   | 5202     | 10       | "          | "          | "                  |     | "                                    |
| 3  | 100     | 40     | 1.5     |          | 32       | 36.44   | 3140     | 35       | "          | "          | "                  |     |                                      |
| 4  | 80      | 15     | 5.3     |          | 28       | 14.75   | 4993     | 357      | "          | "          | 落葉樹<br>(30年生)      |     |                                      |
| 5  | 80      | 20     | 1.5     |          | 28       | 18.12   | 2760     | 127      | "          | "          | "                  |     |                                      |
| 6  | 35      | 20     | 1.8     | 27       | 31       | 7.40    | 1494     | 357      | "          | "          | "                  |     |                                      |
| 7  | 30      | 10     | 0.9     | 28       | 28       | 2.74    | 279      | 10       | "          | "          | "                  |     |                                      |
| 8  | 20      | 30     | 0.3     | 29       | 29       | 6.03    | 237      | 0        | "          | "          | "                  |     |                                      |
| 9  | 60      | 5      | 0.9     | 28       | 28       | 2.91    | 297      | 5        | "          | "          | "                  |     |                                      |
| 10 | 70      | 8      | 1.3     | 28       | 28       | 5.47    | 806      | 5        | "          | "          | "                  |     |                                      |
| 11 | 100     | 40     | 6.9     | 27       | 30       | 33.86   | 21666    | 22       | "          | "          |                    |     | 土壌は石<br>の間隙を<br>埋める程<br>度の少量<br>岩盤露出 |
| 12 | 90      | 30     | 3.5     |          | 29       | 24.14   | 4946     | 60       | "          | "          | 落葉樹 (30<br>年生), 笹  |     |                                      |
| 13 | 30      | 30     | 0.9     | 25       | 25       | 9.24    | 918      | 155      | "          | "          | "                  |     |                                      |
| 14 | 70      | 15     | 1.8     |          | 28       | 11.21   | 989      | 140      | "          | "          | "                  |     |                                      |
| 15 | 40      | 28     | 3.6     | 33       | 25       | 9.39    | 2163     | 40       | 礫多い<br>砂土  | "          | "                  |     |                                      |
| 16 | 150     | 120    | 1.8     | 35       | 39       | 95.84   | 23574    | 55       | "          | "          | "                  |     |                                      |
| 17 | 70      | 25     | 3.9     | 32       | 38       | 12.55   | 2367     | 73       | 岩交り<br>礫砂土 | "          | 落葉樹・笹,<br>雑草       |     |                                      |
| 18 | 65      | 25     | 1.6     | 34       | 36       | 12.60   | 1306     | 78       | "          | "          | "                  |     |                                      |
| 19 | 60      | 20     | 1.3     | 25       | 28       | 12.51   | 628      | 286      | 角礫多<br>い砂土 | "          | "                  |     | 表土剥落<br>なれど樹<br>根を残さ<br>ず            |
| 20 | 20      | 10     | 0.4     | 27       | 24       | 10.51   | 472      | 7        | 小礫多<br>い砂土 | "          | "                  |     |                                      |
| 22 | 15      |        |         |          |          |         |          |          | "          | "          | "                  |     |                                      |
























| 番号   | 長さ<br>m | 幅<br>m | 厚さ<br>m | 傾斜<br>崩壊前<br>° | 傾斜<br>崩壊後<br>° | 面積<br>a | 体積<br>m <sup>3</sup> | 方位<br>角<br>° | 土 壤                | 地 質        | 地表状態                    | 形 状 | 備 考  |
|------|---------|--------|---------|----------------|----------------|---------|----------------------|--------------|--------------------|------------|-------------------------|-----|--|
| 21   | 70      | 15     | 1.8     | 21             | 23             | 10.64   | 989                  | 356          | 岩交り礫<br>多い砂土       | 凝灰質<br>集塊岩 | 落広葉樹 (30<br>年), ス<br>ゲ類 |     | 砂土は乾<br>いてセメ<br>ント状,<br>根深40厘<br>礫, 岩を<br>火山灰状<br>土砂がセ<br>メント状<br>に固める |
| 22   | 12      | 13     | 0.8     | 32             | 32             | 2.12    | 200                  | 118          | "                  | "          | "                       |     |  |
| 23   | 10      | 20     | 0.8     | 32             | 32             | "       | "                    | "            | "                  | "          | "                       |     |  |
| 24   | 30      | 60     | 1.3     | 29             | 29             | 16.01   | 732                  | 20           | 礫, 岩交<br>り灰状砂<br>土 | "          | 落広葉樹,<br>マツ, スギ<br>僅か混す |     |  |
| 25   | 120     | 60     | 8.7     |                | 30             | 58.89   | 32782                | 143          | 灰砂土                | "          | "                       |     |  |
| 梨 26 | 60      | 20     | 2.5     |                | 35             | 8.60    | 1570                 | 166          | 礫灰砂土               | "          | "                       |     | 山腹凸部<br>崩壊   |
| 27   | 10      | 5      | 0.5     | 28             | 25             | 0.79    | 45                   | 89           | "                  | "          | "                       |     |  |
| 28   | 20      | 10     | 0.8     | 30             | 33             | 1.82    | 168                  | 15           | "                  | "          | "                       |     | 小土柱あ<br>り  |
| 29   | 60      | 25     |         | 28             | 28             | 12.19   |                      | 51           | 大礫交り<br>灰砂土        | "          | "                       |     |  |
| 30   | 20      | 60     | 0.9     | 31             | 31             | 9.86    | 575                  | 27           | 礫灰砂土               | "          | 広葉樹                     |     |  |
| 木 31 | 60      | 20     | 0.4     | 30             | 30             | 11.43   | 528                  | 31           | "                  | "          | "                       |     |  |
| 32   | 80      | 15     | 0.9     | 27             | 27             | 15.86   | 1602                 | 91           | "                  | "          | "                       |     |  |
| 33   | 20      | 15     | 0.8     | 42             | 38             | 2.38    | 126                  | 140          | "                  | "          | "                       |     |  |
| 34   | 30      | 20     | 0.8     | 35             | 38             | 4.18    | 251                  | 89           | "                  | "          | 雑木                      |     |  |
| 35   | 70      | 15     | 0.8     | 30             | 33             | 10.13   | 440                  | 19           | "                  | "          | 広葉樹 (30年)<br>笹, スゲ類     |     | 根深40厘  |
| 沢 36 | 20      | 20     |         | 35             | 30             | 4.26    |                      | 95           | "                  | "          | "                       |     |  |
| 37   | 115     | 5      | 0.4     | 35             | 35             | 6.23    | 320                  | 95           | "                  | "          | "                       |     |  |
| 38   | 40      | 8      |         | 50             | 50             | 2.19    |                      | 95           | "                  | "          | "                       |     |  |
| 39   | 50      | 15     | 1.3     | 30             | 33             | 9.44    | 337                  | 103          | "                  | "          | 雑木 (樹高10<br>米)          |     |  |
| 40   | 120     | 20     | 0.4     | 35             | 35             | 16.55   | 808                  | 192          | "                  | "          | 雑木 (3~5米)               |     | 表土殆ど<br>なし   |
| 流 41 | 15      | 5      | 0.4     | 35             | 38             | 1.64    | 80                   | 190          | "                  | "          | 雑木 (5米)                 |     | 表土20厘<br>岩塊, 岩<br>片露出多<br>し, 表土<br>30厘                                 |
| 42   | 20      | 8      | 0.6     | 35             | 38             | 2.22    | 114                  | 190          | "                  | "          | 雑木林                     |     | 表土30厘  |
| 43   | 15      | 10     |         | 45             |                | 1.34    |                      | 220          | "                  | "          | 雑木林                     |     |  |
| 44   | 40      | 7      | 0.8     | 35             | 38             | 2.62    | 256                  | 275          | 灰砂土<br>石礫少し        | "          | 雑木林, マツ<br>点在           |     |  |
| 45   | 150     | 20     | 0.8     | 35             | 35             | 25.80   | 2520                 | 230          | 礫火山灰<br>砂          | "          | 雑木林                     |     |  |
| 城 46 | 70      | 10     | 1.6     | 35             |                | 7.45    | 293                  | 242          | 黄色灰砂<br>土          | "          | スギ造林地,<br>灌木多し          |     | 石礫少し<br>表土30厘<br>スギ生育<br>良好  |
| 47   | 15      | 10     | 0.4     | 28             | 28             | 1.85    | 84                   | 51           | "                  | "          | 雑木 (15年生)               |     | 石礫少し<br>土壌厚し   |
| 48   | 40      | 4      | 0.4     | 32             | 32             | 2.29    | 98                   | 187          | "                  | "          | ヒノキ造林地<br>灌木多し          |     | 表土40厘<br>ヒノキ15<br>年生位  |
| 49   | 25      | 35     | 0.7     | 32             | 30             | 6.45    | 304                  | 155          | "                  | "          | "                       |     |  |
| 50   | 60      | 15     | 4.3     |                | 30             | 17.75   |                      |              | 大礫灰砂<br>土          | "          | "                       |     |  |
|      | 30      | 8      | 2.2     |                | 35             | 16.79   |                      |              | "                  | "          | "                       |     |  |

| 番号 | 長さ<br>m | 幅<br>m | 厚さ<br>m   | 傾<br>崩前<br>° | 斜<br>崩後<br>° | 面積<br>a | 体積<br>m³ | 方位<br>角<br>° | 土 壤                        | 地 質        | 地表状態               | 形 状 | 備考                   |
|----|---------|--------|-----------|--------------|--------------|---------|----------|--------------|----------------------------|------------|--------------------|-----|----------------------|
| 51 | 90      | 25     | 1.2       | 40           | 36           | 9.81    | 1024     | 218          | 大礫灰砂<br>土                  | 凝灰質<br>集塊岩 |                    |     |                      |
| 52 | 30      | 20     | 1.4<br>5  | 25           | 22           | 8.43    | 513      |              | "                          | "          |                    |     |                      |
|    | 20      |        |           |              |              |         |          |              |                            |            |                    |     |                      |
| 53 | 20      | 15     | 1.9       | 24           | 20           | 4.29    | 298      | 61           |                            | "          |                    |     |                      |
| 54 | 40      | 20     | 0.8       | 35           | 35           | 6.39    | 624      | 63           |                            | 凝灰質<br>集塊岩 | 広葉樹, 雑草            |     | 岩盤露出                 |
| 55 | 50      | 10     | 0.8       | 33           | 33           | 4.70    | 209      | 79           |                            | "          | "                  |     |                      |
| 56 | 75      | 40     |           |              | 30           | 20.70   |          | 73           |                            | "          | "                  |     |                      |
| 57 | 12      | 20     | 0.3       |              |              | (2.3)   | 69       |              |                            | "          | 広葉樹, スゲ<br>類, 雑草   |     |                      |
| 58 | 10      | 3      | 0.9       |              | 30           | 0.52    | 54       | 206          | 岩, 礫,<br>灰砂土               | "          |                    |     |                      |
| 59 | 30      | 5      | 0.4       | 27           | 27           | 1.78    | 80       | 250          |                            | "          | 広葉樹, 雑草,<br>苔多し    |     | 一部大岩<br>露出           |
| 60 | 50      | 10     | 0.8       |              |              | (5.0)   | 209      |              |                            | "          |                    |     |                      |
| 61 | 50      | 25     | 1.3       |              |              | (11.4)  | 1482     |              |                            | "          |                    |     |                      |
| 62 | 40      | 25     |           |              | 34           | 9.37    |          | 250          |                            | "          |                    |     |                      |
| 63 | 25      | 30     | 0.8       | 30           | 35           | 5.98    | 372      | 265          | 大礫, 大<br>岩を含む<br>黄黒灰砂<br>土 | 熔岩         | 雑木(13米)            |     | 熔岩岸下<br>の崖錐流<br>出    |
| 64 | 150     | 10     | 1.3       | 29           | 31           | 52.04   | 3868     | 58           | 黄黒灰砂<br>土                  | 凝灰質<br>集塊岩 | 雑木(10米)            |     |                      |
| 65 | 70      | 20     | 1.1       | 22           | 25           | 14.65   | 806      | 53           |                            | "          | 雑木, 草生<br>(笹)      |     |                      |
| 66 | 100     | 10     |           |              |              | (16.6)  |          |              | 砂土                         | "          |                    |     |                      |
| 67 | 100     | 40     | 1.3       | 27           | 30           | 27.71   | 2721     | 79           | 砂壤土                        | "          | 雑木中にスキ<br>点在       |     | 崩壊脚部<br>にスキ大<br>喬木あり |
| 68 | 40      | 10     | 0.4       | 25           | 31           | 4.08    | 180      | 300          |                            | "          | 雑木(10米)            |     |                      |
| 69 | 30      | 15     | 0.4       | 25           | 30           | 4.26    | 188      | 304          | 円礫を含<br>む灰砂土               | "          | "                  |     |                      |
| 70 | 60      | 15     | 0.4       | 29           | 29           | 10.01   | 460      | 314          |                            | "          | ヒノキ20年生<br>地床植物なし  |     |                      |
| 71 | 120     | 10     | 0.5       |              | 25           | 12.24   | 675      | 282          |                            | "          | ヒノキ25年生<br>15米     |     | 表土浅し<br>(20糎)        |
| 72 | 30      | 10     | 0.4<br>15 | 30           | 30           | 8.83    | 408      | 261          | 火山灰土                       | "          | 灌木                 |     |                      |
|    | 30      |        |           |              |              |         |          |              |                            |            |                    |     |                      |
| 73 | 20      | 20     | 7.1       | 30           | 45           | 3.55    | 947      | 261          | "                          | "          | 灌木                 |     |                      |
| 74 | 40      | 10     | 0.6       | 30           | 30           | 4.24    | 294      | 123          | "                          | "          | 灌木のみ               |     |                      |
| 75 | 60      | 50     | 0.3       | 31           | 31           | 24.52   | 858      | 297          | "                          | "          | 灌木                 |     | 表土20糎                |
| 76 | 40      | 30     | 1.1       | 31           | 42           | 10.12   | 691      | 279          | "                          | "          |                    |     | 表土25糎                |
| 77 | 15      | 10     | 0.4       | 30           | 30           | 1.39    | 64       | 188          | "                          | "          | 雑木(10米)            |     |                      |
| 78 | 10      | 8      | 0.4       | 31           | 31           | 1.20    | 56       | 133          | "                          | "          | 灌木, 炭材伐<br>跡地      |     |                      |
| 79 | 20      | 5      | 0.9       | 30           | 30           | 1.47    | 85       | 252          | "                          | "          | 小灌木, 草類,<br>炭材伐跡地  |     |                      |
| 80 | 25      | 7      | 0.4       | 30           | 30           | 1.82    | 84       | 272          | "                          | "          | 灌木, 炭材伐<br>跡地, 草生地 |     |                      |

| 番号                         | 長さ<br>m    | 幅<br>m   | 厚さ<br>m | 傾<br>崩前° | 斜<br>崩後° | 面積<br>a | 体積<br>m³ | 方位<br>角°   | 土 壤                | 地 質                   | 地表状態                                       | 形 状                           | 備考                                |             |
|----------------------------|------------|----------|---------|----------|----------|---------|----------|------------|--------------------|-----------------------|--|-------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| 81                         | 30         | 4        | 0.4     | 28       | 28       | 1.68    | 76       | 339        |                    | 凝灰質<br>集塊岩            | 灌木, 炭材伐<br>跡地, 草生地                         |                               | 表土20種                             |             |
| 82                         | 20         | 15       | 0.4     | 27       | 27       | 2.94    | 132      |            | 黄白火山<br>灰          | "                     | 灌木, 上縁は<br>20年生アカマ<br>ツ                    |                               |                                   |             |
| 83                         | 40         | 5        | 0.7     | 27       | 30       | 2.23    | 73       | 273        | "                  | "                     | 炭材皆伐直後                                     |                               |                                   |             |
| 84                         | 15         | 10       | 0.8     | 30       | 35       | 1.47    | 63       | 201        | 黄色火山<br>灰          | "                     | 灌木, 薪炭林                                    |                               |                                   |             |
| 85                         | 35         | 10       | 0.7     | 29       | 31       | 3.32    | 128      | 267        |                    | "                     | 雑木(10米)                                    |                               |                                   |             |
| 大<br>洞<br>・<br>二<br>本<br>槽 | 86         | 42       | 20      | 0.7      | 30       | 30      | 5.28     | 427        | 25                 | 黒砂土, 軽<br>石混入         | 熔岩   | ミヅナラ, カ<br>バ                  |                                   | 古生層は<br>崩れず |
|                            | 87         | 20       | 10      | 0.4      | 33       | 33      | 1.59     | 76         | 105                | 黒砂土, 軽<br>石安山<br>岩礫混入 | "  | 30年生広葉樹<br>雑草                 |                                   |             |
|                            | 88         | 50       | 15      | 1.8      | 25       | 25      | 6.52     | 1296       | 245                | 黒砂土, 安<br>山岩礫         | "  | ミヅナラ, カ<br>エデ, ハンノ<br>キ, 草木密生 |                                   |             |
|                            | 89         | 60       | 21      | 0.5      | 25       | 20      | 1.24     | 554        | 227                | 礫, 軽石<br>砂土           | 凝灰質<br>集塊岩                                 | 広葉樹密生                         |                                   |             |
|                            | 90         | 60       | 46      | 0.5      | 24       | 30      | 19.93    | 1175       | 274                | 礫, 粘土<br>交り砂          | "  | 灌木密生                          |                                   |             |
|                            | 91         | 46       | 1       | 0.4      | 32       | 32      | 0.76     | 36         | 244                | 礫, 軽石<br>赤土           | "  | "                             |                                   |             |
|                            | 92         | 39       | 23      | 0.8      |          | 38      | 8.04     | 816        | 157                | 礫, 大礫<br>を含む砂<br>土    | 古生層<br>及び凝<br>灰質集<br>塊岩                    | ヒノキ造林地<br>生育稍不良               |                                   |             |
|                            | 93         | 28       | 15      | 0.8      |          | 40      | 2.22     | 218        | 325                | 砂礫, 粘<br>土を含む         | 凝灰質<br>集塊岩                                 | ヒノキ, 広葉<br>樹混合林               |                                   |             |
|                            | 94         | 80       |         | 1.5      |          | 40      | 15.94    | 3270       | 146                | 赤土・礫,<br>軽石           | "  | ヒノキ植栽,<br>広葉樹混入,<br>雑草密       |                                   |             |
|                            | 95         | 26       | 26      | 0.5      |          | 36      | 5.34     | 297        | 88                 | 砂土(軽<br>石)            | 古生層<br>及び凝<br>灰質集<br>塊岩                    | 灌木密生, 大<br>木点在                |                                   |             |
|                            | 96         | 85       | 5       | 0.5      |          | 31      | 3.64     | 212        | 291                | 軽石, 砂<br>土            | 凝灰質<br>集塊岩<br>安山岩                          | 広葉樹密生,<br>雑草                  |                                   |             |
|                            | 97         | 41       | 15      | 0.3      |          | 43      | 3.80     | 156        | 92                 | 小角礫,<br>砂土            | "  | 広葉樹林                          |                                   |             |
|                            | 98         | 41       | 15      | 0.3      |          | 43      | 3.80     | 156        | 92                 | "                     | "  | "                             |                                   |             |
|                            | 99         | 110      | 31      | 0.4      |          | 36      | 22.57    | 1116       | 293                | 安山岩の<br>大小礫交<br>り砂土   | 安山岩  | 広葉樹林, 灌<br>木雑草密生              |                                   |             |
|                            | 100        | 105      | 5       | 0.5      |          | 32      | 4.49     | 212        | 285                | "                     | "  | "                             |                                   |             |
| 101                        | 150        | 80       | 0.5     |          | 33       | 93.51   | 5575     | 285        | "                  | "                     | "  |                               |                                   |             |
| 102                        | 95         |          | 0.5     |          | 41       | 15.01   | 995      | 127        | 安山岩の<br>小礫交り<br>砂土 | "                     | 広葉樹林, 灌<br>木密生                             |                               |                                   |             |
| 103                        | 100        |          |         |          | 34       |         | 145      |            | "                  | "                     | ヒノキ, 灌木,<br>広葉大木点在                         |                               |                                   |             |
| 104                        |            |          |         |          | 37       |         | 301      |            | "                  | "                     | 広葉樹密生                                      |                               |                                   |             |
| 105                        | 63         | 22       | 0.7     |          | 36       | 10.68   | 924      | 85         | "                  | "                     | "  |                               |                                   |             |
| 106                        | 120<br>220 | 15<br>20 | 0.6     |          | 33       | 122.43  | 8792     | 284<br>314 | 砂壤土,<br>転石多し<br>"  | 凝灰質<br>集塊岩<br>"       | 広, 針混合林<br>スギ(20年),<br>ナラ, クリ(40<br>年), 雑木 |                               | 広葉樹中<br>に針葉樹<br>林が圃地<br>として点<br>在 |             |



| 番号      | 長さ<br>m | 幅<br>m | 厚さ<br>m | 傾 斜<br>° | 面積<br>a | 体積<br>m³ | 方位<br>角° | 土 壤                  | 地質                | 地表状態                           | 形 状 | 備考                 |  |
|---------|---------|--------|---------|----------|---------|----------|----------|----------------------|-------------------|--------------------------------|-----|--------------------|--|
| 107     | 220     | 55     | 0.6     | 35       | 81.79   | 5842     | 11       | 砂壤土、<br>転石多し         | 凝灰質<br>集塊岩        | スギ(20年)、<br>ナラ、クリ(40<br>年)、雑木  |     | 広葉樹の<br>み崩れた<br>如し |  |
| 108     | 200     | 13     | 0.8     | 33       | 15.94   | 1577     | 347      | 〃                    | 〃                 | スギ、ナラ、<br>クリ                   |     |                    |  |
| 109     | 250     | 100    | 0.9     | 34       | 157.52  | 16150    | 323      | 軽石、軽<br>石様小礫<br>灰砂土  | 〃                 | スギ(20~30<br>年)、広葉樹<br>(15~20年) |     |                    |  |
| 110     | 152     | 13     | 0.6     | 33       | 22.23   | 1590     | 298      | 〃                    | 〃                 | 広葉樹点在、<br>雑草、灌木                |     |                    |  |
| 沼 111   | 126     | 24     | 0.5     | 35       | 19.91   | 1215     | 260      | セメント<br>状灰砂土<br>転石多し | 〃                 | 雑草、灌木                          |     | スギ団地<br>残る         |  |
| 112     | 110     | 10     | 0.8     | 33       | 9.23    | 924      | 255      | 灰砂土、<br>転石多し         | 〃                 | 雑草、茨密生                         |     |                    |  |
| 113     | 58      | 9      | 0.5     | 34       | 4.15    | 250      | 270      | 〃                    | 〃                 | ナラ、コナラ、<br>径10種以下              |     |                    |  |
| 尾 114   | 200     | 80     | 0.8     | 34       | 132.65  | 12800    | 265      | 礫、砂                  | 熔岩集<br>塊岩         | カラマツ、ヒ<br>ノキ、広葉樹               |     |                    |  |
| 115     | 100     | 18     | 0.8     | 36       | 22.73   | 2360     | 254      | セメント<br>状灰砂土<br>礫多し  | 〃                 | ヒノキ、カラ<br>マツ、一部広<br>葉樹         |     |                    |  |
| 116     | 128     | 20     | 0.6     | 36       | 25.24   | 1872     | 223      | 礫、灰砂<br>土、褐色<br>壤土   | 〃                 | ヒノキ、一部<br>広葉樹                  |     |                    |  |
| 川 117   | 110     | 10     | 0.4     | 35       | 9.58    | 468      | 240      | 礫灰砂土                 | 〃                 | ヒノキ、上部<br>広葉樹                  |     |                    |  |
| 118     | 300     |        | 1.6     | 35       | 466.92  | 91200    | 15       | 〃                    | 〃                 | カラマツ(20<br>~30年)               |     |                    |  |
| 119     | 120     | 20     | 0.5     | 36       | 19.26   | 1190     | 234      | 〃                    | 〃                 | ヒノキ、下部<br>針葉樹                  |     |                    |  |
| 上 120   | 200     |        |         | 35       | 35.06   |          | 45       | 灰砂土                  | 〃                 | カラマツ、落<br>葉広葉樹混在               |     |                    |  |
| 121     |         |        |         | 34       |         |          | 290      | 〃                    | 〃                 | カラマツ                           |     |                    |  |
| 122     | 120     | 10     | 0.4     | 35       | 10.24   | 500      | 321      | 灰砂土、<br>褐色砂壤<br>土    | 〃                 | カラマツ(15<br>年)密生                |     |                    |  |
| 123     | 105     | 8      | 0.5     | 36       | 6.07    | 375      | 328      | 〃                    | 〃                 | カラマツ                           |     |                    |  |
| 124(70) |         |        |         | 32       |         |          | 90       | セメント<br>状灰砂土         | 〃                 | カラマツ、落<br>葉樹                   |     |                    |  |
| 125(80) |         |        |         | 32       |         |          | 19       | 〃                    | 〃                 | カラマツ                           |     |                    |  |
| 126     | 42      | 42     | 0.4     | 37       | 12.54   | 628      | 5        | 砂壤土                  | 凝灰質<br>集塊岩        | カラマツ、落<br>葉樹混合                 |     |                    |  |
| 127     | 43      | 80     | 0.4     | 39       | 16.09   | 428      | 334      | 〃                    | 〃                 | 〃                              |     |                    |  |
| 128     | 90      | 90     | 0.5     | 36       | 60.35   | 3730     | 53       | 黄褐砂壤<br>土、紫砂         | 安山岩<br>凝灰質<br>集塊岩 | 広葉樹                            |     |                    |  |
| 129     | 85      | 40     | 0.5     | 34       | 22.38   | 1350     | 319      | 〃                    | 〃                 | 〃                              |     |                    |  |
| 130     | 100     |        |         | 31       | 44.40   |          | 73       | 〃                    | 〃                 | コナラ等落<br>葉樹                    |     |                    |  |
| 131     | 70      |        |         | 36       | 27.67   |          | 54       | 紫砂、褐<br>色砂壤土         | 〃                 | 〃                              |     |                    |  |
| 132     | 62      | 35     | 0.4     | 39       | 15.39   | 792      | 290      | 黒砂土                  | 〃                 | 広葉樹                            |     |                    |  |
| 133     | 64      | 18     | 0.4     | 33       | 9.72    | 416      | 87       | 紫砂、褐<br>色砂壤土         | 〃                 | コナラ                            |     |                    |  |

| 番号  | 長さ<br>m   | 幅<br>m | 厚さ<br>m | 傾斜<br>° | 面積<br>a: 坪<br>m <sup>2</sup> | 体積<br>v: 坪<br>m <sup>3</sup> | 方位<br>角<br>° | 土 壤                          | 地 質               | 地表状態                      | 形 状   | 備考     |
|-----|-----------|--------|---------|---------|------------------------------|------------------------------|--------------|------------------------------|-------------------|---------------------------|---|--------|
| 134 | 51        | 42     | 0.5     | 36      | 11.57                        | 715                          | 23           | 黒砂土                          | 安山岩<br>凝灰質<br>集塊岩 | 広葉樹                       |    |        |
| 135 | 68        | 70     | 0.7     | 37      | 30.51                        | 2674                         | 111          | 安山岩の<br>大小礫,<br>灰砂土          | 凝灰質<br>集塊岩        | 広葉樹, 一部<br>針葉樹            |    |        |
| 136 | 90        | 55     | 0.6     | 32      | 37.91                        | 2682                         | 344          | "                            | 安山岩<br>凝灰質<br>集塊岩 | 広葉樹                       |    |        |
| 137 | 40        | 10     | 0.3     | 37      | 3.11                         | 117                          | 291          | 安山岩礫<br>灰砂土                  | "                 | 灌木, 落広葉<br>樹              |    |        |
| 138 | 60        | 70     | 0.4     | 37      | 22.28                        | 1112                         | 64           | 中礫, セ<br>メント状<br>灰砂土,<br>礫多し | "                 | 落広葉樹7~8<br>米              |    |        |
| 139 | 42        | 34     | 0.4     | 31      | 9.43                         | 440                          | 265          | 黒灰砂土<br>礫多し                  | "                 | 落広葉樹密生<br>灌木              |    |        |
| 140 | 120       | 18     | 0.7     | 31      | 35.74                        | 2919                         | 285          | "                            | "                 | 灌木密生, 頂<br>上は疎            |    |        |
| 141 | 92<br>110 | 90     | 0.7     | 31      | 63.26                        | 5166                         | 32           | 砂壤土                          | "                 | 広葉樹                       |    |        |
| 142 | 60        | 80     | 0.6     | 32      | 26.46                        | 1872                         | 331          | "                            | "                 | "                         |   |        |
| 143 | 68        | 47     | 0.5     | 37      | 23.08                        | 1440                         | 314          | 灰砂壤土                         | "                 | "                         |  |        |
| 144 | 200       | 170    | 0.4     | 36      | 250.80                       | 12400                        | 51           | "                            | "                 | 雑草密生                      |  |        |
| 145 | 115       | 90     | 0.5     | 40      | 104.60                       | 6465                         | 51           | 安山岩大<br>礫, セメ<br>ント状灰<br>砂土  | 凝灰質<br>集塊岩        | 灌木, マツ点<br>在              |  |        |
| 146 | 110       | 39     | 0.9     | 34      | 34.16                        | 3708                         | 61           | 灰砂土                          | 熔岩集<br>塊岩         | コナラ及雑木                    |  |        |
| 147 | 75        | 14     | 0.8     | 35      | 8.93                         | 872                          | 303          | "                            | "                 | "                         |  |        |
| 148 | 80        | 10     | 0.8     | 35      | 8.03                         | 784                          | 52           | "                            | "                 | 落広葉樹, ヒ<br>ノキ             |  |        |
| 149 | 110       | 13     | 0.5     | 34      | 10.87                        | 655                          | 56           | 灰砂壤土                         | 安山岩<br>凝灰質<br>集塊岩 | 落広葉樹, ス<br>ギ数本            |  |        |
| 150 | 105       | 21     | 0.6     | 36      | 16.42                        | 1218                         | 84           | "                            | "                 | "                         |  |        |
| 151 | 90        | 18     | 0.3     | 34      | 13.68                        | 495                          | 116          | "                            | "                 | 雑木, 灌木, ス<br>ギ幼林, マツ      |  |        |
| 152 | 52        | 35     | 0.4     | 37      | 9.18                         | 456                          | 308          | "                            | "                 | スギ, マツ,<br>灌木             |  |        |
| 153 | 58        | 10     | 0.3     | 31      | 4.97                         | 174                          | 298          | 安山岩の<br>大礫, 灰<br>砂土, 軽<br>石  | 凝灰質<br>集塊岩        | スギ, 山腹上<br>部は疎, 下部<br>は密生 |  |        |
| 154 | 110       | 23     | 0.7     | 32      | 22.39                        | 1848                         | 13           | 安山岩大<br>礫, セメ<br>ント状灰<br>砂土  | "                 | 灌木幼, スギ,<br>壮スギ           |  |        |
| 155 | 60        | 13     | 0.3     | 34      | 6.80                         | 246                          | 49           | 灰砂土                          | "                 | 雑木, 灌木                    |  |        |
| 156 | 140       |        | 0.5     | 38      | 36.86                        | 2340                         | 5            | 灰砂土,<br>安山岩礫                 | "                 | 広葉樹                       |  | 第3図1参照 |
|     | 130       |        | 0.5     | 36      | 34.22                        | 2170                         | 56           | "                            | "                 | "                         |  |        |
| 157 | 80        |        | 0.5     | 40      | 19.95                        | 1302                         | 326          | "                            | "                 | "                         |  | 第3図2参照 |
|     | 120       |        | 0.5     | 37      | 29.12                        | 1953                         | 70           | "                            | "                 | "                         |  |        |

|   | 番号  | 長さ<br>m | 幅<br>m | 厚さ<br>m | 傾 斜<br>° | 面積<br>a | 体積<br>m³ | 方位<br>角° | 土 壤                       | 地質                | 地表状態  | 形 状 | 備考 |
|---|-----|---------|--------|---------|----------|---------|----------|----------|---------------------------|-------------------|---|-----|----|
| 沼 | 158 | 95      | 15     | 1.6     | 39       | 10.80   | 3581     | 59       | 灰砂土                       | 凝灰質<br>集塊岩        | ヒノキ, スギ,<br>雑木群生  |     |    |
|   | 159 | 80      | 79     | 0.4     | 36       | 32.93   | 1628     | 337      | "                         | "                 | 雑木, スギ  |     |    |
|   | 160 | 20      | 23     | 1.0     | 30       | 2.86    | 330      | 289      | 転石, 砂<br>土                | "                 | スギ, ヒノキ,<br>頂部灌木疎生<br>雑草  |     |    |
|   | 161 | 110     | 12     | 1.8     | 31       | 11.66   | 2448     | 271      | 褐色壤土<br>灰砂土               | "                 | 雑木点在  |     |    |
|   | 162 | 85      | 12     | 0.6     | 35       | 9.34    | 627      | 286      | "                         | 熔岩集<br>塊岩         | "   |     |    |
|   | 163 | 72      | 11     | 0.4     | 34       | 6.13    | 296      | 301      | 褐砂壤土                      | "                 | 広葉樹   |     |    |
|   | 164 | 150     | 12     | 0.3     | 35       | 14.75   | 540      | 343      | 大礫, 砂<br>壤土               | "                 | 広葉樹, 径3~<br>6 種密生, 径<br>15 種点在<br>ダケカンバ,<br>上部シラカバ<br>カラマツ, 上<br>部ダケカンバ<br>シラカバ |     |    |
|   | 165 | 230     | 32     | 1.7     | 33       | 100.39  | 20349    | 341      | "                         | "                 | "   |     |    |
|   | 166 | 100     | 13     | 0.7     | 34       | 11.03   | 931      | 345      | 熔岩状塊<br>セメント<br>状灰砂土      | "                 | "   |     |    |
|   | 167 | 110     | 11     | 0.6     | 36       | 10.03   | 744      | 323      | "                         | "                 | "   |     |    |
| 尾 | 168 | 110     | 11     | 0.3     | 40       | 13.25   | 519      | 5        | 褐砂壤土                      | "                 | カラマツ, 広<br>葉樹少量   |     |    |
|   | 169 | 80      | 15     | 0.6     | 36       | 9.38    | 174      | 61       | 安山岩大<br>礫, 褐砂<br>壤土       | "                 | 広葉樹原始状<br>態<br>土壌風化, 粘<br>土に近い褐色<br>壤土  |     |    |
|   | 170 | 180     | 13     | 0.4     | 38       | 15.60   | 152      | 230      | "                         | "                 | "   |     |    |
|   | 171 | 95      | 13     | 0.8     | 35       | 9.91    | 968      | 203      | 安山岩大<br>礫を含む<br>褐壤土       | 安山岩               | カラマツ  |     |    |
|   | 172 | 90      | 12     | 0.8     | 38       | 31.52   | 198      | 223      | 褐砂壤土                      | "                 | カラマツ, ヒ<br>ノキ   |     |    |
|   | 173 | 110     | 60     | 0.7     | 29       | 48.72   | 3899     | 276      | 砂壤土                       | 安山岩<br>凝灰質<br>集塊岩 | "   |     |    |
|   | 174 | 25      | 8      | 2.5     | 33       | 1.51    | 450      | 131      | 褐粘土,<br>転石多し              | 凝灰質<br>集塊岩        | スギ造林地<br>(約100年生)   |     |    |
|   | 175 | 36      |        | 0.4     | 35       | 2.79    | 136      | 114      | "                         | "                 | "   |     |    |
|   | 176 | 60      | 20     | 0.6     | 34       | 8.29    | 600      | 62       | 灰砂土                       | "                 | 灌木, 雑木疎<br>生笹密生   |     |    |
|   | 177 | 68      | 15     | 3.0     | 33       | 8.39    | 3204     | 81       | 軽石, 灰<br>砂土               | "                 | 灌木稍密  |     |    |
| 流 | 178 | 67      | 8      | 3.5     | 36       | 4.69    | 1473     | 63       | "                         | "                 | "   |     |    |
|   | 179 | 63      | 8      | 0.8     | 34       | 3.81    | 368      | 232      | セメント<br>状灰砂土              | "                 | 雑木, 笹   |     |    |
|   | 180 | 25      | 25     | 2.1     | 34       | 4.56    | 990      | 66       | 褐砂土                       | "                 | 雑木, 灌木, 笹   |     |    |
|   | 181 | 36      | 16     | 0.3     | 32       | 3.14    | 141      | 233      | 灰砂土                       | "                 | 広葉樹   |     |    |
|   | 182 | 62      | 50     | 0.3     | 36       | 20.39   | 756      | 312      | 黄色砂壤<br>土                 | "                 | 雑木, 灌木疎<br>生  |     |    |
|   | 183 | 75      | 48     | 0.6     | 33       | 24.91   | 1633     | 0        | 褐灰砂土<br>礫少し               | "                 | 灌木, 雑木  |     |    |
|   | 184 | 70      |        | 0.4     | 34       | 18.82   | 908      | 246      | 黄褐砂土                      | "                 | "   |     |    |
|   | 185 | 60      | 24     | 0.7     | 34       | 12.85   | 1085     | 245      | "                         | "                 | 灌木, 雑木,<br>ナラ   |     |    |
|   | 186 | 65      | 30     | 0.6     | 32       | 11.28   | 798      | 329      | "                         | "                 | 灌木, 雑木  |     |    |
|   | 187 | 80      | 12     | 0.3     | 36       | 7.20    | 267      | 46       | 砂壤土,<br>表面に軽<br>石をかぶ<br>る | "                 | "   |     |    |

表土は粘  
質壤土,  
下層は砂  
質



|             | 番号  | 長さ<br>m | 幅<br>m | 厚さ<br>m | 傾 斜<br>° | 面積<br>a | 体積<br>m³ | 方位<br>角<br>° | 土 壤         | 地質         | 地表状態                           | 形 状 | 備 考         |
|-------------|-----|---------|--------|---------|----------|---------|----------|--------------|-------------|------------|--------------------------------|-----|-------------|
| 沼<br>尾<br>川 | 188 | 55      | 18     | 0.3     | 35       | 7.78    | 285      | 84           | 灰砂土         | 凝灰質<br>集塊岩 | 灌木, 雑木                         |     | スギ団地<br>残る  |
|             | 189 | 63      | 13     | 1.0     | 36       | 5.74    | 710      | 105          | "           | "          | "                              |     |             |
|             | 190 | 49      | 42     | 0.8     | 35       | 14.17   | 1384     | 109          | 黄砂土,<br>軽石  | "          | 灌木, 雑木, 笹                      |     |             |
|             | 191 | 45      | 13     | 0.8     | 36       | 8.01    | 792      | 116          | "           | "          | "                              |     |             |
|             | 192 | 40      | 15     | 0.6     | 34       | 4.56    | 330      | 109          | 砂土          | "          | 広葉樹, 灌木                        |     |             |
|             | 193 | 80      | 22     | 0.7     | 34       | 13.02   | 1099     | 206          | 灰砂土         | "          | 灌木, 広葉樹<br>叢生                  |     |             |
|             | 194 | 60      | 15     | 0.4     | 34       | 6.96    | 336      | 205          | 黄灰砂土        | "          | 広葉樹                            |     |             |
|             | 195 | 80      | 100    | 0.7     | 37       | 36.90   | 3234     | 289          | 灰砂土         | "          | "                              |     |             |
|             | 196 | 85      | 77     | 0.8     | 33       | 41.10   | 3675     | 119          | "           | "          | "                              |     |             |
|             | 197 | 62      | 53     | 1.6     | 37       | 34.82   | 6976     | 268          | "           | "          | 灌木, 広葉樹                        |     |             |
|             | 198 | 83      | 18     | 2.0     | 30       | 15.76   | 3540     | 121          | "           | "          | 広葉樹                            |     |             |
|             | 199 | 80      | 23     | 0.7     | 35       | 13.35   | 1141     | 256          | "           | "          | "                              |     |             |
|             | 200 | 80      | 30     | 0.9     | 35       | 16.38   | 1800     | 271          | 黄灰土         | "          | カラマツ, ス<br>ギ, 広葉樹              |     |             |
|             | 201 | 95      | 14     | 0.6     | 35       | 15.57   | 1073     | 110          | "           | "          | スギ, 広葉樹                        |     |             |
|             | 202 | 60      | 20     | 0.9     | 34       | 11.28   | 1224     | 299          | "           | "          | "                              |     |             |
|             | 203 | 85      | 20     | 1.6     | 35       | 16.38   | 3260     | 104          | 黄灰砂土        | "          | 広葉樹<br>カラマツ, ス<br>ギ, 広葉樹点<br>在 |     |             |
|             | 204 | 76      | 40     | 0.9     | 30       | 23.82   | 2365     | 300          | "           | "          | カラマツ                           |     |             |
|             | 205 | 58      | 65     | 0.3     | 32       | 25.10   | 888      | 2            | "           | "          | "                              |     |             |
|             | 206 | 65      | 88     | 0.4     | 33       | 42.02   | 2004     | 347          | 赤色灰砂<br>土   | "          | 広葉樹                            |     |             |
|             | 207 | 95      | 30     | 0.6     | 35       | 17.98   | 1320     | 35           | 黄灰砂土<br>礫多し | "          | スギ, 雑木                         |     |             |
|             | 208 | 80      | 15     | 0.6     | 35       | 15.54   | 1138     | 304          | "           | "          | "                              |     | スギ団地<br>残る  |
|             | 209 | 48      | 13     | 0.6     | 34       | 13.27   | 960      | 5            | "           | "          | "                              |     |             |
| 流<br>域      | 210 | 68      | 18     | 0.6     | 35       | 9.17    | 672      | 283          | 黄褐砂土        | "          | "                              |     | 広葉樹団<br>地残る |
|             | 211 | 42      | 18     | 0.7     | 39       | 4.23    | 494      | 141          | 灰砂土         | "          | 雑木, 灌木                         |     |             |
|             | 212 | 45      | 11     | 0.3     | 34       | 9.20    | 333      | 208          | 砂壤土         | "          | ナラ, クルミ                        |     |             |
|             | 213 | 30      | 16     | 0.3     | 34       | 2.65    | 96       | 259          | "           | "          | "                              |     |             |
|             | 214 | 40      | 20     | 0.4     | 33       | 5.54    | 264      | 295          | 軽石交り<br>砂壤土 | "          | "                              |     |             |
|             | 215 | 80      | 18     | 2.3     | 36       | 13.92   | 3956     | 313          | "           | "          | "                              |     |             |
|             | 216 | 33      | 28     | 0.3     | 34       | 7.71    | 279      | 270          | 灰砂土         | "          | ナラ, 雑木,<br>モミ点在                |     |             |
|             | 217 | 41      | 35     | 0.3     | 34       | 10.11   | 366      | 235          | "           | "          | ナラ, カヤ(草<br>本)                 |     |             |
|             | 218 | 30      | 16     | 0.3     | 32       | 4.33    | 153      | 327          | "           | "          | "                              |     |             |
|             | 219 | 31      | 8      | 0.4     | 34       | 2.74    | 132      | 75           | "           | "          | ヒノキ, 広葉<br>樹点在                 |     |             |
|             | 220 | 70      | 15     | 0.6     | 35       | 9.83    | 720      | 349          | "           | "          | 広葉樹                            |     |             |

| 番号  | 長さ<br>m | 幅<br>m | 厚さ<br>m | 傾斜<br>° | 面積<br>a | 体積<br>m <sup>3</sup> | 方位<br>角° | 土 壤       | 地質         | 地表状態 | 形 状 | 備考 |
|-----|---------|--------|---------|---------|---------|----------------------|----------|-----------|------------|------|-----|----|
| 221 | 75      | 17     | 0.7     | 37      | 9.66    | 847                  | 216      | 灰砂土       | 凝灰質<br>集塊岩 | 広葉樹  |     |    |
| 222 | 36      | 8      | 1.6     | 36      | 3.16    | 624                  | 124      | 紫灰砂土      | "          | "    |     |    |
| 223 | 41      | 5      | 0.8     | 36      | 2.10    | 208                  | 124      | "         | "          | "    |     |    |
| 224 | 52      | 12     | 0.4     | 34      | 4.97    | 240                  | 83       | 黄灰砂壤<br>土 | "          | "    |     |    |

(1) 崩壊地の長さ、幅、厚さ、傾斜

崩壊地の長さの分布は次表の如くである。

| 長 さ m | 50以下 | 50~100 | 100~150 | 150~200 | 200~250 | 250~300 |
|-------|------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 頻 度 % | 38.5 | 42.9   | 13.9    | 2.6     | 1.7     | 0.4     |

長さは斜面長で 10~300m に及び、平均 72.8m で、100m 以上のものは多く沢の源頭であり、兩岸山腹は尾根迄長くても 150m 程度であるから之以上の長さの崩壊は無い訳である。崩壊は地形、地質、土壌、地表植物状態によつて左右されるものであるから、等斜面長、等傾斜であつても中腹から崩れ又は溪岸のみ崩れる事もあるが、之等も侵蝕が進むにつれ遂には尾根迄達するものであり、始めから尾根より沢迄一度に崩壊するものもあり、調査した各沢の兩岸は尾根よりの斜面長 50~100m が普通であるから、前表の数字は今回の如き大災害時は崩壊は概ね尾根又は尾根近くの上部より起つてゐるのを物語つてゐる。

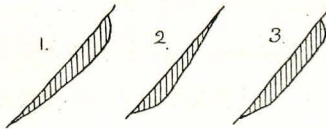
幅は谷頭のものは非常に広く 200m 以上に及ぶものもあり、溪岸の崩壊は長さに比べて幅が大であるが、山腹凹所を溪谷状に崩壊したものは長さに比べ幅は極めて小さく概ね 10~20m で、幅は地形、地表植物状態に最も左右されるらしく長さ、厚さ、傾斜等と関係が無い。

厚さの分布は次表の如くである。

| 厚さ m | 0.5以下 | 0.5~1.0 | 1.0~1.5 | 1.5~2.0 | 2.0~3.0 | 3.0~4.0 | 4.0~7.0 | 7 以上 |
|------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------|
| 頻度 % | 58    | 21      | 9       | 5       | 2       | 2       | 2       | 1    |

厚さは 0.4m より 10m 近いもの迄あるが、1.0m 以下のものが最も多い。之は崩壊の多くが表土剝落と見られるものが多く、崩壊縦断面が山腹に平行のことが多い事を示している。厚さの大きなものでは縦断面が所謂円形地<sup>4)</sup>と類似の型となつてゐるものもあつた。此の中には基岩の平滑な凹処に溜つてゐた土砂が流された為に碗状をなしているものも 2, 3 あつたが深い火山灰層土で円形又は安藏博士の地<sup>5)</sup>面<sup>5)</sup>をしているものもあつた。

表土剝落型の崩壊では山腹傾斜と平行しているので崩壊前後で傾斜は変わらないが、円形地辻型では崩壊前後を比較して緩となつたものも急となつたものもあるが、此の型は主として赤城山南側梨木沢附近に多く見られ、北側二本楯、大洞、西側沼尾川では殆ど見られなかつた。



1. 傾斜が緩となつたもの
2. 傾斜が急となつたもの
3. 安蔵博士の地辻面

第 1 図

今崩壊前後で傾斜の変化したものが多かつた梨木沢上流附近の崩壊地のみについて、表土剝落型崩壊(写真2)と地辻型崩壊(写真5)との発生機構を推察してみると、第2表に示す如く傾斜が前後で変らぬものは厚さ平均 0.6m で最大のものでも 1.3m に過ぎず多くは 0.5m 位であるのに対し、前後で傾斜の変つたものは厚さも大となつてい

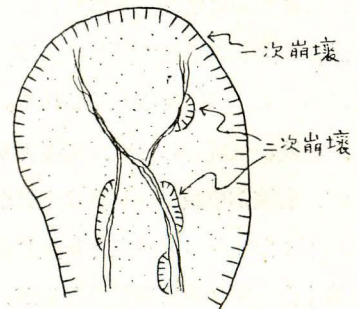
る。前者は恐らく最表面の樹根を含む薄い腐植土層とその下の転石を含んだ火山灰層との間に潛流を生じて之が辻面となつて生じた表土掃流侵蝕、後者は崩壊部一体が円形又はカマボコ形辻面に沿つて崩れたものと思われ、両者の発生機構を別にして考えるのが適當であらう。

第 2 表

|                 | %  | 平均厚さ m | 最大厚さ m | 最小厚さ m |
|-----------------|----|--------|--------|--------|
| 傾斜が崩壊前より緩となつたもの | 18 | 53     | 2.1    | 0.5    |
| 傾斜が崩壊前より急となつたもの | 35 |        | 1.9    | 0.4    |
| 傾斜が崩壊前後で変らぬもの   | 47 | 0.6    | 1.3    | 0.3    |

崩壊前後で傾斜が変わらないものゝ中でも安蔵博士の辻面と見られるものもあり、地辻型崩壊は 53% 以上になると思われる。崩壊前後で傾斜の変るもので厚さの最小が 0.4m, 0.5m となつているが、此のものは長さ、幅共に小さく矢張り表面侵蝕ではなく山腹に凹面をなした崩壊と認められる。又崩壊前の傾斜が欠測の為崩壊後だけしか判らぬものの中で厚さ 8.7m に達する崩壊があつた。

こゝに興味ある事は、崩壊前後で傾斜が變つたと思われるのは梨木沢附近で 53% もあるのに、赤城山北側の砂川上流では僅かに 2~3 ケ所見られるのみで、西側沼尾川上流前入沢、後入沢では殆ど見られなかつた事である。之等はすべて表土掃流と見られる訳でもなく地辻型崩壊と思われるものもあつたが、安蔵博士の辻面型又はカマボコ型である為に崩壊前後で傾斜の変化が出なかつたものである。然しその数は極めて少く表土剝落と見られるものが大多数で、然も之等の多くは大面積で第2図に示す如く、剝落された後も尙続く雨の為に雨裂を生じ、之が次第に深く大きなものとなり、両側が二次的に溪岸侵蝕的崩壊を起し、為に最大深は



第 2 図

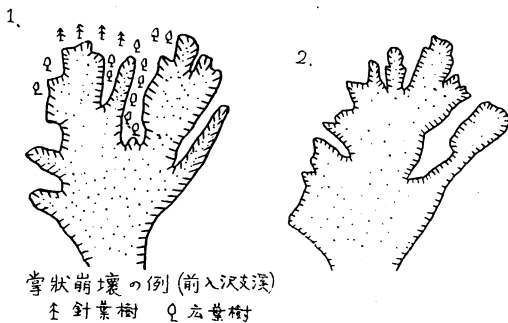


もとの地表より 7m 以上に及ぶものもあり、崩壊地内に雨裂のある処では平均深さ 2~3m あるものが普通であつた。

崩壊地厚さを測る時は第一次崩壊の時現われた地表面を以て厚さを定め、特に雨裂の甚しいものを平面図中に幅、深さを記入した。崩壊内部に大雨裂があれば崩壊面は起伏激しく、殊に前入沢、後入沢の流域ではこうしたものが多かつたが、梨木附近では崩壊内部に雨裂のあるものは殆どなく崩壊面は地中の大岩が一部露出する為の起伏はあつても大雨裂の為めの起伏はなく概ね平滑な表面をしていた。

## (2) 崩壊形状、位置

崩壊形状は第3図の如く、一般に谷頭では掌状をなし面積も大きな崩壊を生じ、山腹凹処は



第 3 図

短柵形、崖脚に起つたものは幅の方が長さより大きい馬蹄形又は拋物線形であるが、岩盤の凹処に溜つていた砂礫が流されたものは形状は岩の形に従っている。

地表面に巖の少い処の崩壊は辺縁はなだらかな曲線又は直線であるが、巖の多い処は辺縁が不規則な重鋸歯状をなしている。

沢の兩岸で山腹にそれ程巖の無は処で割合に不規則な形をしている次の例がある。即ち表土侵蝕によつて山腹の小部分の表土が剝落した場合、之が比較的速かに拡大し近接した2,3の同様な部分が遂に接して一つとなつた為に、もとの小剝落の位置によつて形造られたものと推察される。

崩壊は元来地表の不安定な部分が周囲との釣合を失つて崩落するものであり、一度崩れてしまえば之によつて出来た新しい地表面及び周辺に対して侵蝕作用は働くが極く僅かで、暫くは結合力によつて安定し崩壊した時の形を保つものであるが、後述の土柱の形成にも関係ある如く浮石等の混入した火山灰の如く、粗糲で透水性大きく水に会えば直ちに結合力を失う様な土壤は、崩壊に際して雨の為に結合力を失い次第に表面より流出し、之が地被物によつて割合妨げられている処は侵蝕が少しでも防止されているが、地被物の破れ目が各処にあると其処は速かに剝落し地被物で僅かに妨げられている部分の剝落を促し、豪雨中の短時間に小部分の剝落が集つて一つになると思われる。

崩壊の位置としては、尾根より生じたもの、中腹に生じたもの、溪岸に生じたもの等があるが、崩壊が中腹で終り後は土砂が通過した為に擦られた状態のものと、山腹凹処で尾根より僅か下つた傾斜の変換点より生じ溪岸迄崩壊したものが最も多い。凹処は流水が余計集り他より強く作用するのは当然であるが、山腹凹部で周囲と植生等は変わらないのに崩壊している処もあり、外見上からは特別崩れ易い点は見受けられなかつた。山腹凸部でも崩れる例は昭和13年の

神戸裏山の山崩の際<sup>10)</sup>にも見られ、赤城では今回長さ 60m、幅 20m、厚さ 2.5m のものが見られた。

### (3) 崩壊地の面積、体積

面積は実測した長さ、幅と形状の見取図から斜面図を描きプランメーターで斜面積を求め傾斜度から水平面積に改算した。体積は平面見取図、断面見取図から形に応じて近似的に半楕円体、四分楕円体、三角柱、半円柱等と見做して概算し、表土剝落型のは斜面積に厚さを乗じて算出した。一次崩壊後に雨裂を生じて崩壊内に更に雨裂の両側崩壊を起しているものは、崩壊の厚さを第一次の崩壊面を推定して測つたので、之等算出体積には含まれていない。

面積の分布は次表の如くである。

| 面 積 a | 1 以下 | 10以下 | 20以下 | 30以下 | 40以下 | 60以下 | 100以下 | 150以下 | 150以上 |
|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 箇 所 数 | 3    | 111  | 61   | 16   | 13   | 6    | 5     | 4     | 3     |

一ヶ所当りの最大面積は 466.92a、平均 20.69a であるが、10a 前後のものが大多数を占めている。

体積の分布は次表の如くである。

| 体積 m <sup>3</sup> | 500以下 | 1000以下 | 1500以下 | 2500以下 | 3500以下 | 4500以下 | 6000以下 | 10000以下 | 30000以下 | 30000以上 |
|-------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 箇 所 数             | 83    | 45     | 22     | 17     | 12     | 8      | 8      | 3       | 6       | 2       |

体積の最大は 91,200m<sup>3</sup> で平均 2,299m<sup>3</sup> であるが、500m<sup>3</sup> 以下のものが多い。

### (4) 地形と崩壊との関係

崩壊箇所数、面積等の大小が傾斜、方位に左右される程度を比較する為に地形解析を行い、調査区域内を一辺 100m の正方形網目で区切り、此の網目の中の直径 100m の円内の 20m 毎の等高線の数 N を計え、N の数を以て 1ha の網目内の地区の傾斜階級とした。方位は東西南北の 4 階級に分け、網目の中の等高線の法線の向きから傾斜の平均方向を定めた。計算に用いた図は地理調査所 5 万分の 1 地形図から調査区域を 2 万 5 千分の 1 に拡大複写して用いた。

第 3 表

| N<br>方位 | 0    | I   | II   | III  | IV  | V   | VI | VII | 計    |
|---------|------|-----|------|------|-----|-----|----|-----|------|
| S       | 2 ha | 76  | 270  | 321  | 172 | 55  | 5  | 0   | 901  |
| W       | 7    | 166 | 375  | 490  | 231 | 71  | 6  | 0   | 1346 |
| E       | 5    | 60  | 224  | 266  | 201 | 75  | 13 | 1   | 845  |
| N       | 6    | 148 | 400  | 381  | 135 | 35  | 4  | 0   | 1109 |
| 0       | 1    | 3   | 3    | 0    | 1   | 0   | 0  | 0   | 8    |
| 計       | 21   | 453 | 1272 | 1458 | 740 | 236 | 28 | 1   | 4209 |

網目の中のNの数、方位の関係により調査区域の地形状態を示すと附図3及び第3表の如くである。こゝで平坦地は方位が無いのは当然であるが、傾斜の階級が0でも緩傾斜が含まれているので方位が現われ、傾斜の階級が0でなくて方位が0であるのは等高線が複雑に曲折したり盆地状をした処である。

今地形と崩壊の関係を調べる為に崩壊地の面積、体積、箇所数を傾斜別、方位別に東西南北、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、……の階級に分けて表示すれば第4、5、6表の如くなる。但し傾斜角 $\alpha$ とNの関係は  $\tan \alpha = \frac{20}{100} \times N$  から、傾斜階級は次の如く定めた。

|        |         |
|--------|---------|
| N=2 の時 | 17~26°, |
| N=3 の時 | 27~34°, |
| N=4 の時 | 35~41°, |
| N=5 の時 | 42~47°, |
| N=6 の時 | 48~52°  |

第 4 表

| 方位 \ 傾斜 | 0, I | Ⅱ      | Ⅲ       | Ⅳ       | V 以上  | 計       |
|---------|------|--------|---------|---------|-------|---------|
| S       | 0 a  | 9.24   | 111.40  | 143.36  | 3.72  | 267.72  |
| W       | 0    | 50.85  | 715.26  | 375.02  | 0     | 1141.13 |
| E       | 0    | 18.94  | 432.87  | 874.76  | 9.79  | 1336.36 |
| N       | 0    | 23.69  | 763.90  | 798.03  | 0     | 1585.67 |
| 計       | 0    | 102.72 | 2023.43 | 2191.22 | 13.51 | 4330.88 |

第 5 表

| 方位 \ 傾斜 | 0, I            | Ⅱ     | Ⅲ      | Ⅳ      | V 以上 | 計      |
|---------|-----------------|-------|--------|--------|------|--------|
| S       | 0m <sup>3</sup> | 918   | 36122  | 11863  | 126  | 49629  |
| W       | 0               | 3521  | 52401  | 34471  | 0    | 90393  |
| E       | 0               | 1104  | 40644  | 70458  | 312  | 112518 |
| N       | 0               | 5558  | 96824  | 109019 | 0    | 211401 |
| 計       | 0               | 11101 | 225991 | 225811 | 438  | 463341 |

第 6 表

| 方位 \ 傾斜 | 0, I | Ⅱ  | Ⅲ   | Ⅳ  | V 以上 | 計   |
|---------|------|----|-----|----|------|-----|
| S       | 0    | 1  | 11  | 12 | 2    | 26  |
| W       | 0    | 6  | 41  | 24 | 0    | 71  |
| E       | 0    | 2  | 34  | 32 | 3    | 71  |
| N       | 0    | 2  | 33  | 17 | 0    | 52  |
| 計       | 0    | 11 | 119 | 85 | 5    | 220 |



第 7 表

| 方位 \ 傾斜 | 0, I                | II | III | IV   | V 以上 | 計    |
|---------|---------------------|----|-----|------|------|------|
| S       | 0m <sup>2</sup> /ha | 3  | 35  | 83   | 6    | 127  |
| W       | 0                   | 14 | 146 | 162  | 0    | 322  |
| E       | 0                   | 8  | 163 | 435  | 11   | 617  |
| N       | 0                   | 6  | 200 | 591  | 0    | 797  |
| 計       | 0                   | 31 | 544 | 1271 | 17   | 1863 |

(i) 先ず崩壊面積についてみると、第 3 表と第 4 表より各階級の占有面積当り崩壊面積 (m<sup>2</sup>/ha) を求めたのが第 7 表で、第 7 表の値を分散分析を行つた結果が次表である。

| 因 子 | F <sub>0</sub> | F      | α    |
|-----|----------------|--------|------|
| 傾 斜 | 7.06           | > 5.41 | 0.01 |
| 方 位 | 1.66           | < 3.49 | 0.05 |

傾斜による差は 1% 水準で有意で、方位による差は 5% 水準でも有意でない。即ち崩壊面積は方位によつては大差ない。どの傾斜階級が他の階級に比し有意であるかを調べてみると、2 階級間の差を D と

して 5% 水準で  $D > 640$  が有意であるから、IV が他に比し崩壊面積が多い事となる。

第 8 表

| 方位 \ 傾斜 | 0, I                | II | III | IV   | V 以上 | 計    |
|---------|---------------------|----|-----|------|------|------|
| S       | 0m <sup>3</sup> /ha | 3  | 123 | 69   | 2    | 197  |
| W       | 0                   | 9  | 107 | 149  | 0    | 265  |
| E       | 0                   | 5  | 153 | 351  | 4    | 513  |
| N       | 0                   | 14 | 254 | 808  | 0    | 1076 |
| 計       | 0                   | 31 | 637 | 1377 | 6    | 2051 |

(ii) 崩壊面積が大でも厚さ必ずしも大きくないので、上例に倣つて各階級の占有面積に對する崩壊体積 (m<sup>3</sup>/ha) を求めたのが第 8 表で、第 8 表の値を分散分析した結果が次表である。

| 因 子 | F <sub>0</sub> | F      | α    |
|-----|----------------|--------|------|
| 傾 斜 | 4.45           | > 3.26 | 0.05 |
| 方 位 | 1.55           | < 3.49 | 0.05 |

傾斜による差は 5% 水準で有意で、方位による差は有意でない。傾斜階級の何れが他に比し有意であるかを検すると 5% 水準で  $D > 825$  が有意であるから、IV が 0, I, II, V に比し崩壊体積が多い事と

なる。III と IV では 825 の差は無いが、IV が最も多く III, II, V と少くなっている傾向は面積の場合と同様である。

(iii) 崩壊箇所数についてみると、各階級に於ける 1000ha 当りの箇所数を算出すると第 9 表の如くで、第 9 表の値を分散分析した結果が次表である。

傾斜因子は 1% 水準で有意であるが、方位因子は 5% 水準でも有意でない。傾斜因子については 1% 水準で  $D > 195$  が有意となるので、III, IV と 0, I, II, V の差が 1% 水準でも有

第 9 表

| 方位 \ 傾斜 | 0, I | II | III | IV  | V 以上 | 計   |
|---------|------|----|-----|-----|------|-----|
| S       | 0    | 4  | 34  | 70  | 33   | 141 |
| W       | 0    | 16 | 84  | 104 | 0    | 204 |
| E       | 0    | 9  | 128 | 159 | 34   | 330 |
| N       | 0    | 5  | 87  | 126 | 0    | 218 |
| 計       | 0    | 34 | 333 | 459 | 67   | 893 |

| 因 子 | F <sub>0</sub> | F      | $\alpha$ |
|-----|----------------|--------|----------|
| 傾 斜 | 20.47          | > 5.41 | 0.01     |
| 方 位 | 2.42           | < 3.49 | 0.05     |

意となる。崩壊面積、体積の場合はⅣのみが他に對し有意の傾向を示していたが、箇所数ではⅢ、Ⅳが他に對し有意となるのは、今崩壊面積又は体積が崩壊の多少を示し箇所数が崩壊の難易即ち崩壊規模の

大小に関せず崩れ易いか否かを示すと解すれば、Ⅳは他に比し崩壊が多いが、崩れ易い点ではⅢとⅣは大差無く、Ⅱ以下は緩傾斜の為崩れ難く、Ⅴ以上は岩体露出し安全な為に崩れ難いと考えられる。

(iv) 次に崩壊1箇所当りの平均面積(a)を崩壊を生じた場合の強弱即ち崩れた場合大きく崩れるか或は崩れても大きな崩壊とはならないかを示すものと考えて、各階級に於ける1箇所

第 10 表

| 方位 \ 傾斜 | 0, I | II | III | IV  | V 以上 | 計   |
|---------|------|----|-----|-----|------|-----|
| S       | 0.4  | 9  | 11  | 12  | 2    | 34  |
| W       | 0    | 8  | 18  | 16  | 0    | 42  |
| E       | 0    | 9  | 13  | 27  | 3    | 52  |
| N       | 0    | 12 | 24  | 70  | 0    | 106 |
| 計       | 0    | 38 | 66  | 125 | 5    | 234 |

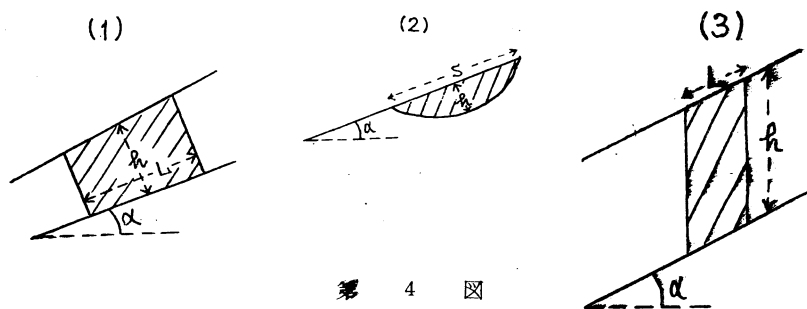
所当り平均面積を示すと第10表の如くで、第10表の値を分散分析した結果が次表である。

| 因 子 | F <sub>0</sub> | F      | $\alpha$ |
|-----|----------------|--------|----------|
| 傾 斜 | 4.91           | > 3.26 | 0.05     |
| 方 位 | 1.58           | < 3.49 | 0.05     |

傾斜因子は5%水準で有意で、方位因子は有意でない。傾斜因子は  $D > 71$  の差が有意であるからⅣは0, I, II, Vに對し有意であるがⅢとの差は判然としな。崩壊の難易を検定した第9表ではⅢは

Ⅱに比べ崩壊が起り易い事示していたが、崩壊の強弱を検定した第10表ではⅡとⅢは有意の差は無く、即ちⅡはⅢに比べ崩壊が起り難いが、若し崩壊が起る場合は土壌が特に脆弱であるとか、急に均衡を失う様な原因が生ずる等の為、Ⅲ、Ⅳに近い様な可成り大きな崩壊となる事を示している。

以上の諸検定を総括してみると傾斜は崩壊に対して重要な因子であることは云う迄もなく、



第 4 図

力学的には傾斜が急になる程崩れ易くなるのは次の如くである。第4図の如く(1)平面断面(2)円形断面, (3)安蔵博士の断面<sup>3)</sup>の一部を考え,  $c$  を凝集力,  $f$  を内部摩擦係数( $f = \tan \varphi$ ),  $w$  を土の単位重量,  $\alpha$  を傾斜角とした場合

(1) 崩壊を起す力  $= whL \sin \alpha$

崩壊を留める力  $= fwhL \cos \alpha + cL$

$$2 \text{ 者の割合 } P = \frac{fwhL \cos \alpha + cL}{whL \sin \alpha} = \frac{f}{\tan \alpha} + \frac{c}{wh \sin \alpha}$$

$\alpha \leq 90^\circ$  の時  $\alpha$  大になれば  $\tan \alpha$ ,  $\sin \alpha$  は大,

従つて  $P$  は小となり崩れ易くなる。

(2) 崩壊を起す力  $= \frac{4}{3} \frac{s^2}{s^2 + 4h^2} \tan \alpha$

崩壊を留める力  $= f + \frac{2c}{wh} \sec \alpha$

$$P = \frac{f + \frac{2c}{wh} \sec \alpha}{\frac{4}{3} \frac{s^2}{s^2 + 4h^2} \tan \alpha} = \frac{3}{4} \left( \frac{s^2 + 4h^2}{s^2} \right) \left( \frac{f}{\tan \alpha} + \frac{2c}{wh \sin \alpha} \right)$$

$\alpha \leq 90^\circ$  の時  $\alpha$  大になれば  $\tan \alpha$ ,  $\sin \alpha$  は大,

従つて  $P$  は小となり崩れ易くなる。

(3) 崩壊を起す力  $= whL \cos \alpha \sin \alpha$

崩壊を留める力  $= whL \cos \alpha \cos \alpha f + cL$

合力  $T = whL \cos \alpha \sin \alpha - whL \cos \alpha \cos \alpha f - cL$

$$= \frac{whL}{2 \cos \varphi} \left\{ \sin (2\alpha - \varphi) - \sin \varphi - \frac{2c \cos \varphi}{wh} \right\}$$

$2\alpha - \varphi \leq 90^\circ$  の時  $\alpha$  大になれば  $\sin (2\alpha - \varphi)$  は大,

従つて  $T$  は大きくなり崩れ易くなる。

併し赤城山に於ける自然現象としては必ずしもそうでなく, 崩壊はⅣで最も大規模且つ大多數のものが生じているが, Ⅴとなると崩壊は殆ど現れぬ。之はⅣの傾斜が火山灰や凝灰質集塊岩の風化地帯の平時存在し得る限度で, Ⅴは風化し難い熔岩や古生層の露出地で崩壊しないが, Ⅳでは大雨, 台風等平時と異なる状況に会うと平時に存在限界であつた火山灰, 凝灰質集塊岩は均衡を破られ大崩壊を起すと考えられる。又今回の大雨では傾斜Ⅱが崩壊の起つた最低限

界でそれ以下は大した被害の起らぬ事を示しているが、実際に傾斜  $15^{\circ}$  以下の処は崩壊を生じていない。

#### (5) 森林と崩壊の関係

(i) 森林と崩壊については、従来から森林の功罪が種々論ぜられているが、主根の杭木としての作用、支根の network としての土壤緊縛作用等が功とされ、森林の重量、風による立木の振動が土壤の弛緩を促すことが罪とされている。

赤城山に於ける森林の主根の杭木作用は基岩の性質如何により甚しく異つてゐる。坂口氏<sup>7)</sup>も崩壊と森林の関係が地質によつて違ふ事を示している如く、赤城山では熔岩、古生層岩石ではその割目より根が地中深く伸び基岩と上部土層を固着し廻りを防ぐ事が出来るが、集塊岩、凝灰岩等の如く板状で根の侵入し得る割目のない基岩では杭根の効果無く崩壊を防ぐ事が出来ぬ。

支根の network については土壤緊縛力を挙げ功を説く半面、Penck<sup>6)</sup> の如く、廻りは林地でも活発に行われ root mat によつて抵抗するところ少く、コロイド状又は極微土粒子は容易に通じ抜けられ、根の或るものは  $1.5 \sim 2m$  に達するが、最も密な部分は表層  $10cm$  の間であると云つてゐる者もある。併し崩壊部が離れる時上部では network は抗張力を發揮し、両側辺縁部では network は抗剪力を發揮し、過湿となつて抵抗力の少くなつた土が根の緊縛力で固められる作用は大きい。赤城では根の深さ  $20 \sim 30cm$  の根自体が板状をなす広葉樹が多く、杭根の作用は為さず根部自体が一つの層として地盤から離れ崩壊した処が見られるが、之は network に疎密又は中断された部分があり疎の処、中断部が破れ平衡を失う為に崩れを促進させたと考えられ、若し network が一様に中断される事無く働けばもつと崩壊を防ぎ得るのではないかと思われる。又土の微粒子が network の間を通り抜ける事は定性的には考えられるが、粒子が移動する事は崩壊よりも侵蝕の問題で、根系の水平方向の土砂緊縛力は大きく、森林が侵蝕防止に有効である事は或る程度定量的にも云い得るのである。<sup>7) 8)</sup>

森林が其の重量により崩壊を起し易くするとの批判は果して妥当であるかを検してみよう。今深さ  $30cm$  の土層が崩れる場合森林の重量は土の重さに比しどの程度であるかを計算してみると次表の如くである。

|       | 面積   | 深さ   | 比重   | 幹材積               | 幹材積に対する<br>枝条、根率 | 全容積                | 全重量     | 比   |
|-------|------|------|------|-------------------|------------------|--------------------|---------|-----|
| 土 壤   | 1 ha | 0.3m | 1.50 |                   |                  | 3000m <sup>3</sup> | 4500ton | 100 |
| 針 葉 樹 | "    |      | 0.95 | 300m <sup>3</sup> | 40%              | 420 "              | 399 "   | 9   |
| 広 葉 樹 | "    |      | 1.00 | 100 "             | 50 "             | 150 "              | 150 "   | 3   |

即ち針葉樹(勿論樹種、樹齡、地位等により或程度の差は生じてくるが)で 10% 程度、広葉樹で 3% 程度で、深さ  $1m$  の土層の崩れの場合は針葉樹で 3%、広葉樹で 1% と深い崩れの場合はますます問題でなくなつてくる。赤城に於ける  $30cm$  程度の浅い崩れは広葉樹の処が多



かつた(勿論赤城全体に広葉樹が多い故であろうが)ので、森林の重量は崩土の重量に比し3%程度で問題にならず、重量の点を問題にするならば大雨による土壌の含水率の増加は土壌の崩壊抵抗力減少の外に、含水率 10% の増加は土層重量の 10% 増加であり、重量の点では森林の重量より含水率増加の重量が問題になつてくる。又安藏博士の一面<sup>5)</sup>を考えれば山麓附近の荷重は受働一面の形成を妨げ、山麓の林木は其の重量が問題にならず反つて浅い受働一面を突抜けて迂りを阻止する効果が大であると考えられる。

風によつて林木が揺られ崩壊を促す点については、普通の風で枝葉が揺られても其の影響が根部迄伝わるとは考えられぬが、台風等の強風の場合は根返り等の為に地肌に相当の影響を及ぼすことは必然であり、風の点では森林は崩壊防止上好しくないが、森林構成の如何、孤立木の除去等によつて此の点はまだ改善の余地はあり、森林の平時の侵蝕防止機能、経済効果と併せ考えた場合風の点のみを強調して森林の存在を否定するのは当たらないと思われる。

以上森林と崩壊の関係を分析的に述べたが、其の実態は地形、地質、降雨、風等種々の森林以外の因子と森林因子とが交絡して崩壊を生ずるので、森林が他の因子に比しどの程度決定的な因子であつたか否かが問題となり、之等因子を量的に解析することが必要である。

(ii) 森林の崩壊に対する影響については、他の因子の崩壊に及ぼす影響と比較して論ぜられねばならぬが、今回の赤城については量的に詳細に検討するには資料が少く、赤城以外の資料を広く蒐集する暇もなかつたので何れ稿を改めて論ずることとする。

森林が他の因子より崩壊に大きく影響するや否やは、之等の因子を組合せた各階級の占有面積当りの崩壊状態が調べられねばならない。併し今回の如き短時日、少人数による現地調査では、単に傾斜別林相別占有面積を調べるのも不可能であつた。

林地と無林地の比較、或いは林地でも針葉樹、広葉樹、幼齡、壯齡、老齡等の階級別の崩壊面積、個数が判つても、夫々の階級の占有面積が判らなければ、例え幼齡林の崩壊面積が数字そのものが大きいても、幼齡林の占有面積もそれに比例して広ければ幼齡林が崩壊し易いとは云えない。

地形因子、地質因子等と組合はせたものはないので、唯林相別丈についてみると、群馬県林務課調査<sup>9)</sup>の占有面積に対する崩壊面積の百分率の次表がある。

|     | 伐跡地   | 20年以下 | 50年以下 | 50年以上密 | 50年以上疎 |
|-----|-------|-------|-------|--------|--------|
| 針葉樹 | 15.7% | 8.6   | 1.9   | 0      | 0      |
| 広葉樹 | 1.9   | 5.1   | 5.3   | 0.9    | 2.9    |

此の値を分散分析を行つてみると、針広両者の差も認められず、林齡による差も認められない。即ち之の資料では針葉樹林が広葉樹より崩れ易いとか、伐跡地、幼齡林に崩壊が多いとは云えない事となる。

又敷島村森林組合の資料では同村内で次表の如くである。

| 樹 種   | ス ギ  | マ ツ | 雑   | タ ケ |
|-------|------|-----|-----|-----|
| 総 面 積 | 206町 | 125 | 942 | 15  |
| 崩 壊 数 | 109  | 14  | 140 | 14  |

前表から 100 町歩当りの崩壊数を算出すると次の如くである。

| ス ギ | マ ツ | 雑  | タ ケ |
|-----|-----|----|-----|
| 53  | 11  | 15 | 93  |

前表の平均値は 43 で、タケの 93 は平均から最も差が大であるので Thompson の棄却検定を行つてみると、 $t_0=2.49 < t=4.30$  ( $\alpha=0.05$ ) で棄却出来ず樹種による有意の差は認められぬ。又スギ、タケの崩壊数が多くなつてゐるが、スギは谷間の堆積土に造林される場合が多く、タケは他の造林の困難な急斜地にある事が多く、何れも元来崩れ易い場処にある事が往々あるので、一概にスギ、タケが崩れ易いとは云えぬ。

明治 40 年山梨県下に起つた山崩について山崩と林相の關係を示した次表<sup>10)</sup>がある。

| 林 相             | 無立木地   | 5~20年<br>幼 齡 林 | 21~50年<br>中 齡 林 | 50 年 以 上<br>老 齡 林 | 50 年 以 上<br>疎 林 |
|-----------------|--------|----------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| 占 有 面 積         | 14029町 | 6668           | 2862            | 3986              | 744             |
| 崩 壊 ケ 所         | 3312   | 1629           | 411             | 348               | 96              |
| 100 町 対 する ケ 所  | 24     | 24             | 14              | 9                 | 13              |
| 崩 壊 面 積         | 389町   | 180            | 75              | 51                | 21              |
| 100 町 対 する 崩壊面積 | 2.77町  | 2.70           | 2.62            | 1.28              | 2.82            |

前表の 100 町に対する箇所数平均は 17 で、50 年以上の老齡林 9 は平均から最も差が大であるので Thompson の棄却検定を行つてみると、 $t_0=1.50 < t=3.18$  ( $\alpha=0.05$ ) で平均 17 に対して老若何れも有意の差は認められぬ。併し中齡以上は無立木地、幼齡林に比して崩壊が著しく少いので、中齡林以上を一団として平均値を求めると 12 となり、此の平均値の眞の値  $m$  の範圍即ち信頼限界を求めてみると  $17.5 > m > 6.5$  となり、無立木地、幼齡林の 24 と云う値は此の限界外となり、此の資料からは無立木地、幼齡林は中齡林以上に比べ崩れ易いと云える。

前表の 100 町に対する崩壊面積平均は 2.44 町で、50 年以上の老齡林 1.28 町は平均から最も差が大であるので Thompson の棄却検定を行つてみると、 $t_0=14.55 > t=5.84$  ( $\alpha=0.01$ ) で、50 年以上の老齡林は他に比し崩壊が著しく少いと云える。

併し此の資料では林相以外の地質、傾斜等の因子は考えられていないので以上の差は全く林相の差によるものとは速断出来ない。

#### 4. 土 石 流

崩壊により山地は被害を被つたことは言うまでもないが、水害により赤城山麓の人家、耕地が被害を受けた原因は土石流である。赤城山より発する沼尾川、天龍川、白川、荒砥川、粕川、梨木川、砂川、根利川等は何れも土石流を発生している。

##### (1) 土石流と崩壊の関係

土石流は黒檜山麓等相当の高所にも生じ、又赤城山の沢は大部分小土石流を起し、山腹凹地にも崩壊と呼ぶより小土石流と称するのが適するものが多く発生している。之等は急傾斜の崩壊がそのまゝ土石流となつたもの、溪流上に山腹の崩壊土砂が倒木、巨岩等により堰かれ一時的の堰となり之が欠壊して土石流となつたものが多く、崩壊が土石流発生の原因なり誘因なりになつている。

一方崩壊とは無関係に溪床堆積物そのものが土石流として流出するものもあり、中流部では此の型の土石流による人家、耕地の被害著しく、沼尾川、白川等の河床そのものが洗堀され大規模な土石流となつている。白川では上流箕輪の土石流通過の時刻は 16 時～16 時 30 分であるのに、下流新地では 15 時 30 分、小沢では 16 時で、明かに下流の土石流は上流の崩壊土石流より早く上流土石流に関係無く下流自身に起つた事を明示している。

即ち土石流には山腹崩壊が起因である上流高地土石流と、崩壊には無関係に溪床そのものが流出する下流低地土石流の 2 種が考えられる。併し上流山腹の崩壊よりの流出土砂が中流以下の溪床を傷め土石流の発生し易い状態にする事と、下流低地土石流発生後も上流よりの流下水は崩壊土砂を相当に含んで土石流発生跡の新溪床を更に破壊して深くしていく事は没却されぬ。

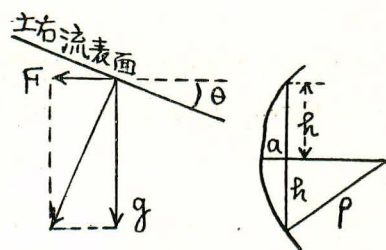
土石流は流下するに当つて周囲に相当の震動を起すので之により崩壊が相当誘発されているのが見られた。

##### (2) 土石流の速度

土石流の速度としては従来記録では、昭和 13 年の磐梯山土石流は 5 月 9 日の 1m/sec, 5 月 15 日の 30m/sec<sup>11)</sup>, 関東震災の根府川土石流の 27m/sec<sup>12)</sup>, 筑波山山津浪の 2m/sec<sup>13)</sup> 等がある。

今回の赤城山土石流については、沼尾川の下流低地土石流は深山を 15 時 30 分頃、津久田利根川合流点を 16 時 30 分頃通過し、其の間約 5000m を 1 時間で流下し平均 1～2m/sec となる。又目撃者の言でも人の歩く速さ (1 時間 6000m として 1～2m/sec), 或いは 200m を 5 分位で走つたと云われ、大体 1～2m/sec の遅いものであつた。

今土石流が彎曲した流路を通る場合第 5 図の如く、土石流の表面は重力  $g$  と遠心力  $F$  との合力の方向に直角即ち水平面と  $\theta$  の角をなすべきで、彎曲の曲率半径を  $\rho$ , 土石流の速度を  $V$  とすれば



第 5 図

$$F = \frac{V^2}{\rho} \quad \tan \theta = \frac{F}{g} = \frac{V^2}{\rho g}$$

$$V = \sqrt{\rho g \tan \theta} \quad (11)$$

敷島村年丸では 150m 幅の処で外側と内側の高さの差 2~3m を目撃したと云われ、 $\rho$  が不明であるが

$$\tan \theta = \frac{2}{150} \sim \frac{3}{150} = 0.013 \sim 0.020$$

$$\rho = 50\text{m} \text{ として } V = 2.4 \sim 3.1\text{m/sec}$$

$$\rho = 30\text{m} \text{ として } V = 1.9 \sim 2.4\text{m/sec}$$

又彎曲部では第5図の如く  $2h$ ,  $a$  は容易に測定し得、 $\rho = \frac{a^2 + h^2}{2a}$  で  $\rho$  が計算し得るので、之による計算値は次表の如くである。

| 場 処      | a m | h m  | $\rho$ m | $\tan \theta$ | V m/sec |
|----------|-----|------|----------|---------------|---------|
| 前入沢深山 上流 | 6.0 | 10.0 | 11.0     | 0.14          | 4.0     |
| 前入沢支沢 下流 | 2.0 | 5.0  | 7.3      | 2/10          | 3.8     |
| 前入沢支沢 上流 | 2.0 | 7.5  | 15.0     | 2/12          | 5.0     |

前表の最初のものは前記沼尾川土石流の上流時のもので、後2つは沼尾川土石流を小型にしたものであるが起因は上流山腹の崩壊にあると見られるもので、何れも上流程急傾斜の故に土石流の速度は大である。

### (3) 土石流の掃流力

土石流は上流に於ては各処の崩壊より流出した土砂が小溪に集り、倒木、大石等の為に一時的堰止められ次第に量を増し、勢を得て再び流出し勾配の少い広い処へ出る迄此の運動を続け、途中にあるものを掃流する。

土石は比重甚だ大で Stiny<sup>14)</sup> は次表の値を示している。

| 溪床勾配 | 固形物の重量比 |     | 比 重  |      |
|------|---------|-----|------|------|
|      | 最 小     | 最 大 | 最 小  | 最 大  |
| 15°  | 45%     | 50% | 1.30 | 1.38 |
| 40°  | 65%     | 70% | 1.49 | 1.53 |

赤城に於ても土石流の比重は相当大で、富士見村に於ける土石流に捲込まれた者の云では、重くて容易に抜け出せなかつたと云うし、敷島村の土石流目撃者の云では、土石流が人家に衝突した場合は家は破壊するより箱が押しつぶされる如く倒れ、土石流は滝の如く奔流するのでなく蛇の進む如き状態で家にのしかかり家を倒して進んだと云うので、土石流は比重が甚だ大であることを示して居り、速力による衝撃力よりは比重の大なる事による破壊力が大で、特に下流低地土石流程此の傾向が著しいと考えられる。

土石流は強大な運搬力を伴うもので、山麓各地で溪床や田畑等に長さ 6~7m、幅 5m、高さ



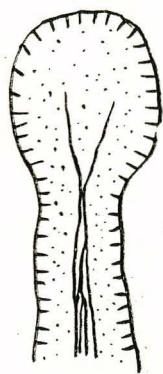
3~4m 程の安山岩の巨岩が各処に見られ、大きなものは長さ 10m に及んでいた。Strele<sup>14)</sup> は巨岩が泥流の約 2 倍もの比重を占め而も殆ど泥流の表面に浮び上っていることは元来物理的には不可能であるが、泥流中を浮遊しつつ流される現象を幾度となく展開すると云っているが、溪床より掘取られた巨岩が溪床勾配の急な処では、土石流中に含まれた大木が土石流の進む方向に回転しながら流れる事よりしても、自転しながら進む事も考えられ、遙か麓の略々平坦地の田畑に巨岩の残っているのは、土石流の掃流力の強さを証明している。

#### (4) 土石流及び通過跡の状況

土石流通過の状況は目撃者の云を総合すると次の如くである。土石流の通過する以前より雷又は飛行機の編隊の如き音が聞え、土石流は夕立雲の如く煙を立て砂、泥、石、木が小山の如く流れ、水よりは泥の流れで泡も立てず重くいやな臭がし、横断面はカマボコ型、縦断面は先端上部が盛り上り、相当の大木が土石流の進む方向に回転しながら流れていた。

土石流の高さは、白川では上流箕輪で 3m、中流の土石流では 4m 位、沼尾川では 3~5m 程度である。

土石流の通過跡は、上流侵蝕地では深い U 字型の溝に掘れ、富士見村原之郷附近では幅 2~3m、深さ 5m 位掘れ、沼尾川深山では幅 8~10m、深さ 6~8m 位掘れ (写真 11, 12)、此の



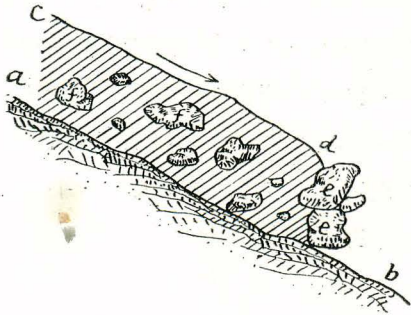
第 6 図

洗掘は深山の人の言では土石流自体よりは土石流後の流水で掘られたものであると云う。上流山腹に生じた小土石流についても第 6 図に示す如く、山腹で崩壊した土砂が流れ出した辺りから深さ 1~5m、幅 2~3m の溝が掘られている箇処が多いが、之等は崩壊土砂の押出と之に続く流水の為である。

土石流跡地は最初深い U 字型に掘られているが、其の後の調査では次第に U 字型の両側面が崩れ、上流山腹では 2 ヶ年位の経過で V 字型となつている。

土石流の状況については今回の赤城の場合は目撃者の言を主体として述べたが、参考の為森林警備官 Shrumberger<sup>15)</sup> が 1876.8.13 に低アルプスの Barcelonette 附近の Faucon 溪で観察した記録より興味ある箇処を再録すれば次の如くである。

山から崩壊した土砂が小溪を下つて各処から無量の眞黒いものが壁の如く溪床を下つてくる。それは溪床の勾配が強い時は急速に流れるが、精々 12/100 勾配の処を下つてきて 2m/sec 足らずとなる。その泥流は流動性があるか無いか位の状態で、土やいろいろの物質の塊のアマルガムのようなものである。その先頭には非常に濃密な泥の中で半ば凝結した様な時には 5~6 m<sup>3</sup> もある大塊が前衛となつて泥流の中を押し進んでくる (第 7 図)。それ等の岩塊は数分の間は先頭を進むが、障害物を見出し留るや否や、混沌たる中に吞まれてしまい、その塊は他に代りそれ等が押されて進み間も無く順に吞み込まれる。その泥流の一体は決して一樣の速度をも



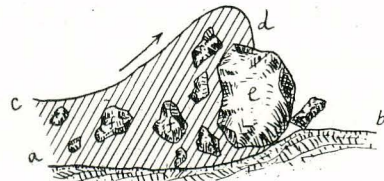
第 7 図

石塊を先頭に進む土石流の縦断面

- a, b 溪床      e 先頭の石塊  
c, d 土石流      f 土石流中の石

つたものではない。或る時は速く或る時は極めて遅く、又ある瞬間には全く動かない様に思われる。極めて小さな障害でも先頭の塊は阻まれ溪床の勾配が緩く且一様でない為に俄かに静止する。若し先頭の塊が充分大きいものであると後に続くものはその堰堤によつて一瞬静止する(第8図)が、其の間も後方の流れは絶えず押進み堰堤を乗り越えるか又は塊を支えている障害物の力を恐ろしい圧力で負かすかして突破する。その時新しく加速度を得て運動しはじめ再び阻止される迄押進む。

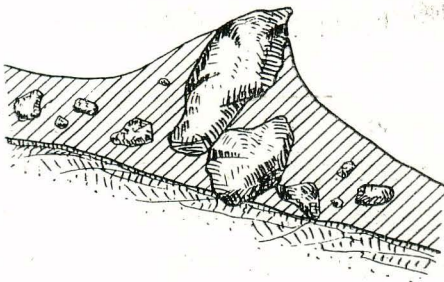
一度大塊の前衛が通過すると泥流は可成り規則正しい速度で下る。それは殆ど流動性の無い黒色群で表面はいろいろの物を含有しているに拘らず極く僅かの水の混つた単なる土からなる如く思われ、ほんの僅か突起を表面に現わしている泥の大川の如きものである。大塊が泥流の中にその存在を注目せしめるのはほんの一瞬間で、間もなく吞込まれる順番が来た如く一瞬泥だらけの流れの上に立上り(第9図)、障害物でもあると之を乗り越えるために泥流の上面を持上げる。土石流の縦断は概して溪床に平行で障害物に当たると一時持上る丈で、土石流が上昇する時はその横断は常に天空に向つて凸であり、下降する時は僅かに凹である(第10図)。かくして約20分許り



第 8 図

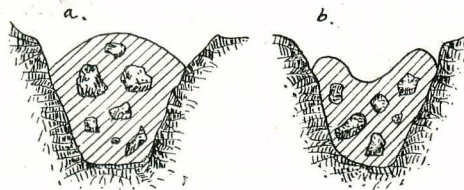
一時的に堰き止められた土石流の縦断面

- a, b 溪床      e ダムを形成する前衛の石  
c, d 土石流      f 土石流中の石



第 9 図

土石流の上に持ち上つた石塊



第 10 図

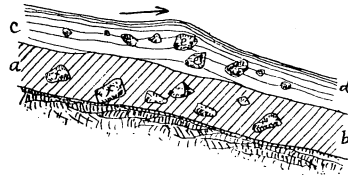
土石流の横断面

- a 溪床を昇る土石流  
b 下降する土石流

泥流は約4mの高さで続き、之迄は大した雑音は聞えず時々岩石が岸又は他の岩石と摩擦して耳をつんざく音を出す丈である。

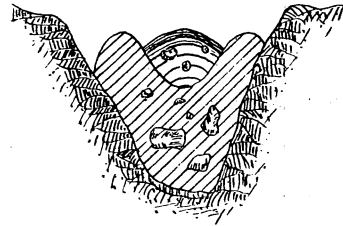
そのうちに土石流は益々流動性に偏し速度は増していく。間もなく水が大量に押寄せ水は奔流の如く土石流の上を流れ、土石流そのものは相変らず緩かに進み、雑音は此の時から始まり

恰も飛行機の編隊の通過する様な音を立てる。大きな力で押寄せた水は凡そ 2m の高さの濤を形成し流れに沿って進む。水は表面に屢々現われる可成り大きな塊を誘い絶えず衝突し合い恐ろしく喧騒な音を発する (第 11 図)。併し間も無く水は先頭にある濃密な土石流と一緒になつ



土石流の上を通過する流水

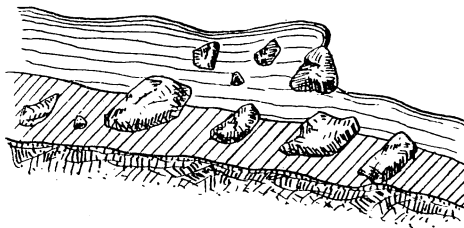
a, b 土石流 e 水に運ばれる石  
c, d 流水 f 泥流に運ばれる石



土石流の上を通過する流水の横断面

第 11 図

てそれに新たな推進力を与える (第 12 図)。結局すべてが掃蕩されると水は殆ど澄んでくる。水



石塊と共に土石流の上を通過する流水

第 12 図

はその時溪床に残っている泥流の上を流れ、崩れる様に石屑の堆積物の中に通路を穿つ如く進む。

山から誘われて流されてきて岸に附着して残る物質の痕跡は殆ど認められず、単に泥流の高さを示す丈で水は溪床を一掃してしまい、物質は非常に遠くへ運ばれ、恰も溪床そのものが流路に沿って動き去つた様

で、後に深いU字型の溝が残されている許りである。

以上の Shrumberger の観察したと同様の現象が今回の赤城でも各処に起つたものと想像される。

#### (5) 土石流と森林の関係

以上の如く土石流の掃流力は甚だ大で、単に森林のみを以てしてはその発生を喰止める事は困難と考えられるが、土石流の発生を防止する事は困難でも障害物の性質、構造如何では土石流の進行方向を転換させ安全地帯に導く事は可能と考えられる。此の事は深山で土石流が流線型の屋根に当つてたやすく方向転換した例、富士見村原之郷でカシの生垣に当つて方向転換した例等よりも想像出来る。

森林は勿論此の方向転換用の障害物として有効であるが、他に土石流が或程度エネルギーを減退された後であれば正面衝突をしても、森林は破壊されず流水は通過しても土石流中の巨岩は立木により留止され、森林背後の人家は為に破壊を免れた例が赤城根村大洞、黒保根村梨木館等に見られた。そして森林は破壊されなければ数次に互る土石流の襲来に対して毎度巨岩留止の作用を繰返す訳である。

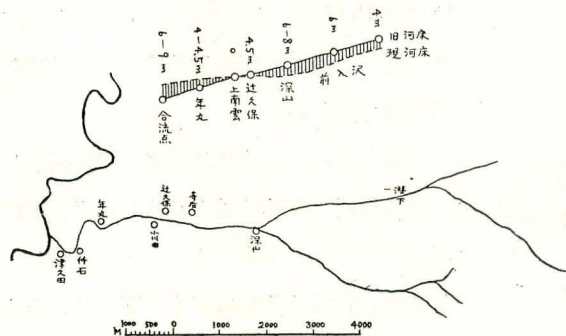


土石流の方向転換，巨岩留止用の森林としては，根の弱い徒らに喬大な針葉樹の類よりは根の強い広葉樹類の方が有効である例も各処に見られた。喬大な針葉樹は若し土石流により破壊された場合は，倒木が土石流の一部となつて下流で暴威を振る危険を生ずる。

### 5. 流出土砂量

崩壊，土石流によりどれ丈の土砂が生産，洗掘，流送され，又下流でどれ丈の土砂が堆積したかは，山地崩壊の実態調査により崩壊地に留止する土砂量と流出土砂量の割合の精密調査，溪流の縦断，横断測量，下流埋没田畑等の堆積土砂測定，更に下流への流出土砂の測定等の結果によらねば正確なる数字は得難いのであるが，かゝる測定資料は何時の災害に於いても得る事は不可能の状態にあるので，大略の概数を推定する外無い現状である。

今回の赤城でも同様であるので，沼尾川を例としていろいろの概数予想値を前提として計算してみると次の如くである。



第 13 図

沼尾川は現地の者の言及び現地調査の結果では第 13 図の如く，深山  
上流より上南雲迄は河床が掘れ，上  
南雲より下流利根川との合流点迄は  
河床が堆積物で上昇している。河床  
上昇の程度は利根川合流点で2~3丈  
(6~9m)，年丸で 13~15 尺 (4~  
4.5m)，上南雲は変化無く，河床下  
降は辻久保で 15 尺 (4.5m)，深山

で 20 尺以上 (6~8m) と云われる。之等現地の者の言及び現地調査の概数目測により沼尾川の土石流による侵蝕，堆積状況を次表の如く定めた。尚幅は利根川合流点近くは最大 20 間位の現況であるが，河幅の拡がつた中には耕地の欠壊，埋没が多く後述の田畑の計算と重複するので，土石流は下流に来る程拡がる傾向があり其の幅は大体上流侵蝕地域の幅の 2 倍程度と見て定めた。

| 区 間  | 利根川合流<br>点一年丸 | 年丸—上南雲 | 上南雲—深山 | 深山上流<br>前入沢下流 | 前入沢上流 | 前入沢支流      |
|------|---------------|--------|--------|---------------|-------|------------|
| 距離 m | 1200          | 1300   | 2000   | 2000          | 2500  | 2000 (5 沢) |
| 幅 m  | 20            | 16     | 10     | 8             | 8     | 4          |
| 深さ m | 6             | 2.5    | 4.5    | 6             | 4     | 3          |

土石流による侵蝕土砂量は

$$2000 \times 4 \times 3 + 2500 \times 8 \times 4 + 2000 \times 8 \times 6 + 2000 \times 10 \times 4.5 = 290,000 \text{m}^3$$

尚後入沢は土石流の侵蝕は甚しくないので計算より除外した。

土石流による堆積土砂量は



$$1300 \times 16 \times 2.5 + 1200 \times 20 \times 6 = 192,000\text{m}^3$$

田畑の流出、欠壊、埋没は敷島村計 246.5 町であるが、此の数字は過大に示されているおそれがあり、又此の中には沼尾川沿岸以外も含まれているし、埋没丈でなく欠壊、流出も一緒にしての数字であるので、沼尾川の埋没田畑は約 50 町程度と推算され、此の田畑が平約 30cm 厚さ土砂が堆積したと見れば

$$500,000 \times 0.3 = 150,000\text{m}^3$$

山地崩壊は敷島村で 230 町となつてゐるが、此の数字も過大と考えられ実際 115 町程度で、之が前入沢流域に 55 町、後入沢流域に 60 町位の割合と推察され、後入沢の峡谷より上流の崩壊地 10 町程度の土砂は下流に流送されたとは観察されぬので除外すると、計 105 町の崩壊地が平均厚さ 50cm (二, 3, (1) で崩壊の厚さは 1.0m 以下が大部分で厚さ 50cm 以下と 50~100cm の割合は 3:1 程度であるので平均 0.5m とする) 崩れたと見て

$$1,050,000 \times 0.5 = 525,000\text{m}^3$$

崩壊土砂は全部下流へ流送される訳でなく山腹に留る部分もあるので、流出の割合を 60% とすれば

$$525,000 \times 0.6 = 315,000\text{m}^3$$

結局次表の値が得られる。

|              |                       |
|--------------|-----------------------|
| 山地崩壊よりの流出土砂  | 315,000m <sup>3</sup> |
| 土石流侵蝕による流出土砂 | 290,000m <sup>3</sup> |
| 小 計          | 605,000m <sup>3</sup> |
| 下流流路堆積土砂     | 192,000m <sup>3</sup> |
| 埋没田畑堆積土砂     | 150,000m <sup>3</sup> |
| 小 計          | 342,000m <sup>3</sup> |
| 利根川への流送土砂    | 263,000m <sup>3</sup> |

崩壊よりの流出土砂と土石流侵蝕土砂と大体同一程度である事と、埋没田畑堆積土砂と土石流の流路堆積土砂が同一程度である事は、何れも前者が浅くても面であるのに対し後者が深くとも線であるのに起因する。

沼尾川の流域山地面積は約 10km<sup>2</sup> の程度で流出土砂量は 605,000m<sup>3</sup> であるので、流域山地の流出土砂平均厚さは 0.06m となる。同様の計算を従来の資料で行つてみたのが第 11 表である。第 11 表をみると流出土砂平均厚さは 0.1m 程度が大きい方で、大体斯様な災害による流出土砂平均厚さは 10<sup>1</sup>mm の order、即ち流出土砂量にして流域 1km<sup>2</sup> 当り 10<sup>4</sup>m<sup>3</sup> の order のものが多からう。

第 11 表

| 場 所                            | 災害年次    | 集水山地面積<br>ha         | 流 出 土 砂 量<br>m <sup>3</sup> | 流出土砂平均厚さ<br>m |
|--------------------------------|---------|----------------------|-----------------------------|---------------|
| 群馬県沼尾川                         | 昭和 22 年 | 1,000                | $0.605 \times 10^6$         | 0.06          |
| 兵庫県再度谷 <sup>16)</sup>          | " 13 年  | 183                  | $0.332 \times 10^6$         | 0.18          |
| 朝鮮慶尚南道 <sup>17)</sup>          | " 9 年   | 283,919              | $50.037 \times 10^6$        | 0.02          |
| 石川県手取川 <sup>18)</sup>          | " 9 年   |                      |                             | 0.05          |
| 兵庫県新湊川 <sup>19)</sup>          | " 13 年  | 3,020                | $3.6 \times 10^6$           | 0.12          |
| " 宇治川 <sup>19)</sup>           | " 13 年  | 240                  | $0.26 \times 10^6$          | 0.11          |
| " 生田川 <sup>19)</sup>           | " 13 年  | 1,130                | $0.47 \times 10^6$          | 0.04          |
| " 都賀川 <sup>19)</sup>           | " 13 年  | 760                  | $0.86 \times 10^6$          | 0.11          |
| " 石屋川 <sup>19)</sup>           | " 13 年  | 240                  | $0.28 \times 10^6$          | 0.12          |
| " 天神川 <sup>19)</sup>           | " 13 年  | 50                   | $0.01 \times 10^6$          | 0.02          |
| " 高橋川, 天上川, 住吉川 <sup>19)</sup> | " 13 年  | 1,580                | $2.2 \times 10^6$           | 0.14          |
| 群馬県白川 <sup>20)</sup>           | " 22 年  | 1,191 <sup>21)</sup> | $0.670 \times 10^6$         | 0.06          |
| " 荒砥川 <sup>20)</sup>           | " 22 年  | 3,413 <sup>21)</sup> | $0.918 \times 10^6$         | 0.03          |
| " 粕川 <sup>20)</sup>            | " 22 年  | 1,111 <sup>21)</sup> | $0.940 \times 10^6$         | 0.03          |

## 6. 土 柱

赤城山小沼附近には 30~50cm の土柱が林立しているが、2~3cm 程度のものは各処で見受けられ、此の地方の土壌の性質を知る事が出来るが、後入沢支沢の奥に高さ 6~7m、最大周囲 2m 程の土柱（写真10）が崩壊地内に唯一つ残っているのを発見した。

土柱の生ずる場処の条件としては、雨量が少く植物の繁茂しない為降雨による土壌の洗滌が容易に行われる処、雨量が少なくなくても岩石が軟弱で粗鬆な土壌の為崩壊の著しい所謂 bad land を形成する処である。土壌としては結合力が乏しく雨水に触れると直ちに土粒が分解する如く浮出して流されるが、乾いている時はモルタル状に固結しているので石を戴く部分は傘の作用で下部を護り土柱が形成される。

赤城山で此の様な土柱のある処は、土壌の結合力乏しく、又過去の降水量が割合少く平常雨に対する試練を受けていない事が判る。かゝる処の土壌流出を防ぐには植生を増して表土を被覆する事と、植生による表土の性質改良、植生成立時迄の工作物による防止が必要である。

又崩壊地内に土柱が残存していた事は、崩壊後の跡地の表面の侵蝕が甚だ大で、上端を石により保護されている土柱は表面の侵蝕特に雨滴侵蝕に対する抵抗力が大で、結局土柱が従来より高さを増して（周囲が侵蝕された為の關係的位置よりして）残存した事を示し、土砂流出の点では崩壊後の跡地の表面侵蝕が崩壊と同様に重視されねばならぬ。

又土柱を生ずる地方は大雨の場合は非常に多量の土砂が流出する処であるから、かうした場処の土砂流出を阻止する事は災害防止上重要である。

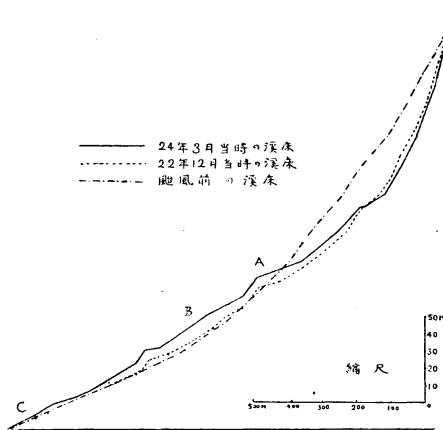
## 7. 溪 床 変 化

土石流及び流水によつて溪床は洗掘、運搬物の堆積が行われ著しい変化を受けたが、梨木沢

支沢の実測結果、沼尾川のカスリン台風後2ヶ年間に亘る観察結果に基いて考察してみる。

(i) 梨木沢支沢

縦断測量は第1回は前橋営林局計画課小暮技官、森田屋が昭和22年12月行つたもので、第2回は筆者等が24年3月に行つた。台風前の状態は昭和13年検定の旧帝室林野局の2万分の1林業図から等高線と沢との交点を測点として縦断図を作製したので、実測に比べ正確さは劣るが変化の比較に用いるには充分であつた。



第14図 しげりたち沢

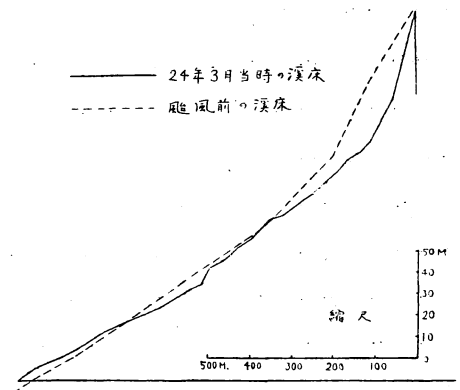
しげりたち沢は第14図の如く、台風後溪頭附近は甚しい侵蝕を受け10m位洗掘されたが、中流以下では巨岩、大小の礫が堆積し高まり、梨木沢への合流点附近では余り変化が無いが、沢の入口附近では巨岩の為多少高まつた。其の後1年3ヶ月の間に徐々に流出した土砂及びアイオン台風等の降雨の為、溪頭は尚侵蝕を受けて削られ、中流附近は巨岩と倒木で出来た自然のダムにより流出土砂で溪床は高まり、此の影響は下流に及ぶが合流点迄は影響していない。即ちしげりたち沢は溪頭や山腹は刻々と侵蝕され

砂礫は溪床に集つて来るが、平常は雨が少く専ら溪床が高まるのみで、たまたま大雨で押流されて梨木沢に出て来ても、合流点以下の梨木沢が広い川幅で緩傾斜であるので抜がつて河床を僅かに高めるのみである。

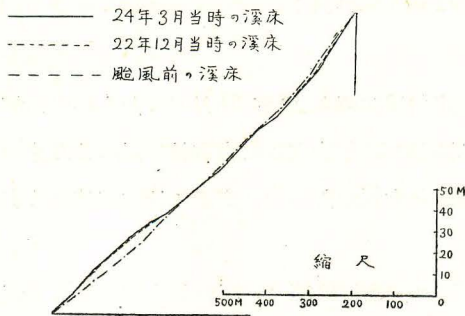
へつたま沢は第15図の如く、台風後第1回の測量が行われず、第2回の測量を行つたのみで、変化の詳細は知る事は出来ないが、台風前に比べ溪頭は相当侵蝕され、中流以下は幾分溪床が高まつている様である。崩壊土砂が溪を下つて梨木沢合流点へ来ると、梨木沢が幅広く緩傾斜で流出土砂は速度が減じ抜がつて堆積している。

かけどや沢は第16図の如く、台風後及び2年を経た24年3月でも変化が無い。之はかけどや沢の溪床は安定した岩盤の露出した処多く、山腹の崩壊も前記2沢より少く、又溪床勾配が前記2沢より少々急で山腹崩壊よりの砂礫は全部梨木沢へ運ばれてしまう為である。

塔の沢を源とする梨木沢は、かけどや沢、へつたま沢と合流する辺りは川幅も広く、支溪よ



第15図 へつたま沢



第 16 図 かけどや沢

梨木沢に合流する支溪よりの流出土砂は相当下流に運ばれている様である。

## (ii) 沼尾川

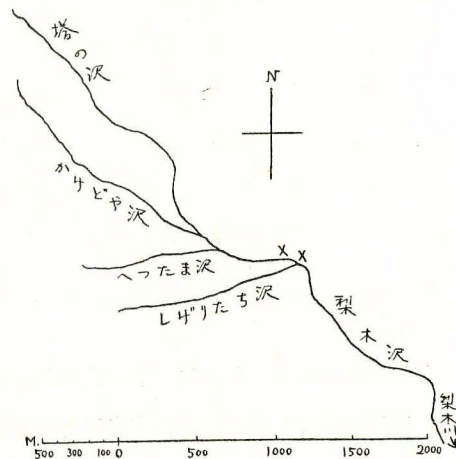
沼尾川の上流 後入沢は深山から上流 2000m の潛下で、堅固な岩壁で区切られ水路幅僅か 1m 足らずの峡谷状となり、その上流は再び川幅が広くなっている。潛下より上流支溪の崩壊砂礫は此の天然の塞で阻止されている。此の点梨木沢しげりたち合流点附近も似ているが、梨木沢では兩岸共堅固な岩壁で無く右岸は溪床より 2m 程高い平坦な造林地で破壊される恐れがある。潛下では堅固な岩壁で兩岸が構成され恰も水門の扉を閉じた様な形を示し、上流の崩壊砂礫は下流に影響しない。

潛下から深山に到る 2000m の間も河床の変化は大して起つたとは思えず、割に幅広い礫の多い河原で、平常でも大沼より発する水が可成り豊かに流れて潛下より下流山腹の侵蝕による流出土砂を適当に流して河床を変化させていない。

深山より下流利根川合流点に到る迄の沼尾川は、第 13 図に示した如くカスリン台風時に、上南雲より上流は河床堆積物自体が土石流となつて流出し最大深 8m も洗掘され、上南雲より下流は土石流が堆積し利根川合流点では 6~9m の上昇を示した。その後 2 ケ年間の経過では一部護岸工事等も行われつゝあり自然状態とは云えぬ点もあるが、大体に於て上南雲より上流は河床は高まり、上南雲より下流は堆積物が大量の流水で利根川へ運ばれ、漸次台風前の相貌に帰りつゝある。

深山で沼尾川に合流する前入沢は、流域内に水の湧出する処殆ど無く、平常は前入沢には流水が無いので、降雨の際に山腹崩壊跡地より流出する多量の土砂が第 13 図に示したカスリン台風時の土石流侵蝕跡地を急速に埋めつゝある。此の変化の状況は深山の稍々上流のトチの大

り運ばれた砂礫は拵がつて河原に留まり、しげりたち沢との合流点上では幅 3~4m (第 17 図××点) と極度に狭くなり、これより上流の砂礫は殆ど此の点迄に詰まり、梨木沢上流の流域山腹は相当崩壊して居てもその流出土砂は此の点より下流には殆ど影響無いと思われる。しげりたち沢との合流点より下は再び川幅も広くなるが、しげりたち沢より下流で



第 17 図



木の埋木の出現及び再び埋没状況を示す写真で明示される。写真7はカスリン台風後8ヶ月の23年5月で埋木の出現を示し、写真8は23年12月、写真9は24年3月の埋木が再び埋没せんとする状況を示したもので、約2ケ年間に約2mの河床上昇を証明するものである。上流崩壊跡地から降雨毎に流出する土砂は、此の沢の流水の少い為に下流迄運ばれず、此の様な速さで前入沢を台風前の姿に戻しつつあり、平常の降雨による流水は堆積土砂の下部を潜流している。

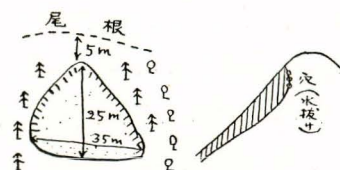
#### 8. 調査地別所見

以上実態調査を行つた各地に於いて外見上気付いた点及び特徴ある崩壊等について簡単に列記する。

##### (i) 黒保根村梨木地域

此の地域の凝灰質集塊岩は風化速く、しげりたち沢、へつたま沢は比較的北面山腹の崩壊が多く、16林班の溪頭は以前の崩壊跡が洞窟状をなしているのが見られ今回の台風で溪の上流部は殆ど全面積崩壊(写真1, 5)している。溪床変化の項で述べた如く各支溪夫々特徴を有し異なっている。後に詳述するが梨木旅館前の梨木入沢(湯の入沢)は上流の山腹工事により崩壊、土石流が見事に防止されて居る。

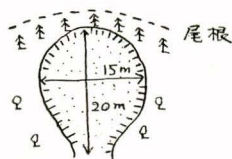
すもゝ沢の15年生程度のヒノキ及び灌木が多数生立する地の崩壊は(第18図)、傾斜崩壊前 $32^\circ$ 、崩壊後 $30^\circ$ で、黄白灰砂土で石礫が多く腐植性を帯びた表土は厚さ30cm位であるが、隣辺の落葉広葉樹喬木林は崩壊せず、崩壊上辺部に降水時水の湧出した形跡のある穴があり、地形、地質、植生等の条件の外に此の様な条件で崩れたり辻つたりする事が往々ある。



第18図

##### (ii) 宮城村湯の沢地域

第19図の如く傾斜 $27^\circ$ 、山腹凹処で深さ50cmの表土剥落型崩壊が見られたが、黄白火山灰で腐植性を帯びた表土は厚さ40cm程度で、灌木の薪炭林伐跡地で上縁は20年生のアカツツ林である。伐採作業と其後の取扱方が当を得ず崩壊したと思われる。



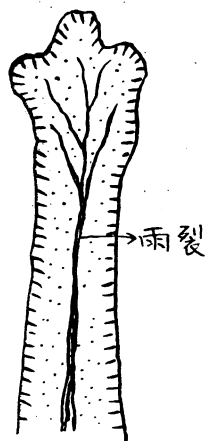
第19図

##### (iii) 敷島村前入沢地域

上流に凝灰質集塊岩地が崩れ熔岩地は基岩が露出した円い山容で崩壊を起していないのが明かに対比して見られる。

崩壊土砂が何れも土石流となつて流下しているが、針広混生林地よりの土石流発生は上部落葉広葉樹、下部スギ林地の土石流発生より遅かつたのが上流にやはり対比して見られる。

又第20図の如く、凝灰質集塊岩を基岩とする安山岩転石の多い砂壤土地で、約40年生のナラ、クリ、雑木の中に約20年生のスギが団となつて点状に崩壊が見られ、発生部は表



第 20 図

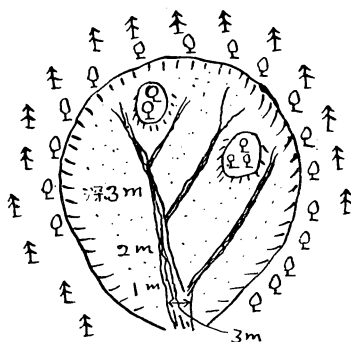
土剝落であるが続いて溪を深く削つて其の長さ 200m 以上に及んでいる。発生時の剝落された上部の土砂の通過及び其の後の雨で溪床が土石流となつて流された状況が判かる。

本地域を始め沼尾川流域一体を含む赤城山西側及び西北側には、表層又は表層下に径数 cm 程度の白色の浮石層が広く分布し、榛名火山よりのものと云われ厚さは 1m 程度であるが、本地域でも表層が崩壊土砂の通過又は小土石流等で破壊して浮石層が現われると、浮石層は容易に洗い流されるので、災害時に小土石流の量を増し、災害時には残つても小土石流跡の溝の側壁から崩れ落ち不断の雨で徐々に下流に押流され溝を益々深くしている。

(iv) 敷島村後入沢地域

旧御料林であつた一支溪流域は山腹石積、堰堤等の工事が以前に施してあつて、今回の台風時にその一部は破壊しているが、後入沢との合流点近くの最下流の堰堤は流下する巨岩の為堤冠部を一部小破されたが安全に残り、上流の崩壊は他の支溪と同様に甚しいが工事が施行されていた為崩壊土砂の流出は殆ど防止され、後入沢へは他の支溪と違つて殆ど土砂を流送していないのが見られた。

第 21 図の如く傾斜長 250m、幅 100m、厚さ 85m、傾斜 35° の表土侵蝕型の崩壊で雨裂の深さ 3m に達する処もある。20~30 年生のスギと 15~20 年生の広葉樹であるが、内に 2 団地広葉樹が残り、此の場合では広葉樹地帯のみが崩壊している。



第 21 図

又第 22 図の如く長さ 126m、幅 24m の崩壊で、モルタル状灰砂土で、上半分が灌木雑草、下半分がスギで、植生状況から見れば崩壊に対し最も安定と思われる場合であつた。

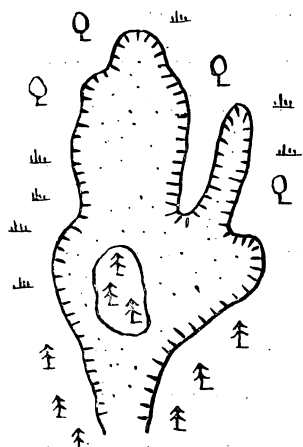
(v) 敷島村中山地域

上流の熔岩地域で第 23 図の如く熔岩の円い 2 つの峯間の鞍部が熔岩地域では珍しい大崩壊を起しているのが見られた。

又従来は沢と云う程でなかつた処が、今回の土石流侵蝕で旧溪床が現われていたが、現在の腐植層の下 2m 程に更に往時の腐植層が



第 23 図

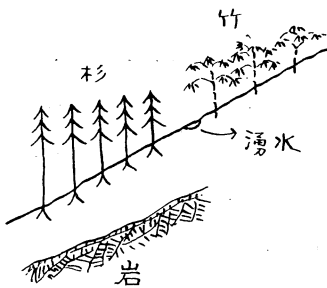


第 22 図

見られ、中山も以前は現在の様な沢であつたのが流出土砂が次第に堆積して沢が無くなつて居た処へ、カスリン台風時の土石流で堆積土砂が流出した事が判明する。

(vi) 敷島村深山地域

深山の後入沢、前入沢合流点(写真 13)では、後入沢が前入沢より 1~2m 低くなつて居り、前入沢よりの土石流が最初に通過し、その後に後入沢よりの土石流が通過し、最後の中山よりの土石流が後入沢上に扇状に堆積し、3 者の時間的關係を明示していた。



第 24 図

日影では第 24 図の如く上方竹林、下方斜面の 1/4 を占めるスギ 50 年生地で、湧水の為岩盤上をスギが立つたままにたつた処がある。スギ林と竹林の境で潜つていた水が湧出するのに適する条件となつた為であろうが、下方迄竹林又は上方迄スギ林であれば異なつた状態を示したかも知れず、横に太い地下茎を張る竹林の方がスギに比べ抵抗力が強いと思われるが、岩盤上をたつとなると竹林でもそのまゝたつ事がよくある。

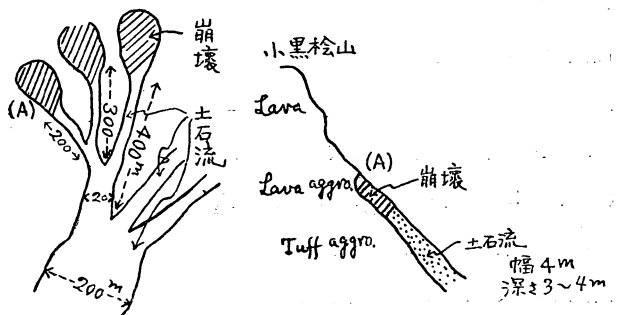
(vii) 赤城根村大洞、二本檜地域

砂川本流二本檜下流約 1km、鷹の巣、大洞沢大洞上流約 1km 等に安山岩脈が滝となつて存在し、之が堰堤の作用を為して上流よりの流出土砂を相当阻止している。水目沢、井戸入沢の古生層地域でも安山岩脈程は大きくないが高さ 2~3m の滝をなし上と同様の作用をなしている。

大洞附近では古生層岩盤上の堰堤が土石流に無傷であるのや、袖が岩盤に接していない堰堤でも放水路肩が破壊した程度で残っているのが見られ、土石流の破壊力の程度如何では堰堤が有効な場合がある。

水目沢では古生層と凝灰質集塊岩の境で崩壊が起り、明かに集塊岩部のみ崩れ、古生層部は崩れないのが対比して見られる。

大洞より二本檜へ上る砂川本流沿岸では、傾斜 40~45° 凝灰質集塊岩地に、尾根よりやや下つた上腹より溪岸迄比較的長く浅く崩れたのが並行して起り、尾根近くは広葉樹、下方は針葉樹の処が多く其の境より崩れた如く見えるが、之は尾根近くは岩盤露出して崩れ難い為で、針葉樹が広葉樹より崩れ易いと云うのではなからうと思われる。



第 25 図

二本檜附近では第 25 図の如く崩壊、それに続く土石流の大きなものが見られるが、此の土石流は崩壊発生後に起つたと云われ、其の基をなす崩壊も小黑檜山頂近くの熔岩地より起つたのでなく、下方の熔岩質集塊岩地、凝灰質集塊岩地附近より起つている。

### (viii) 南郷、根利地域

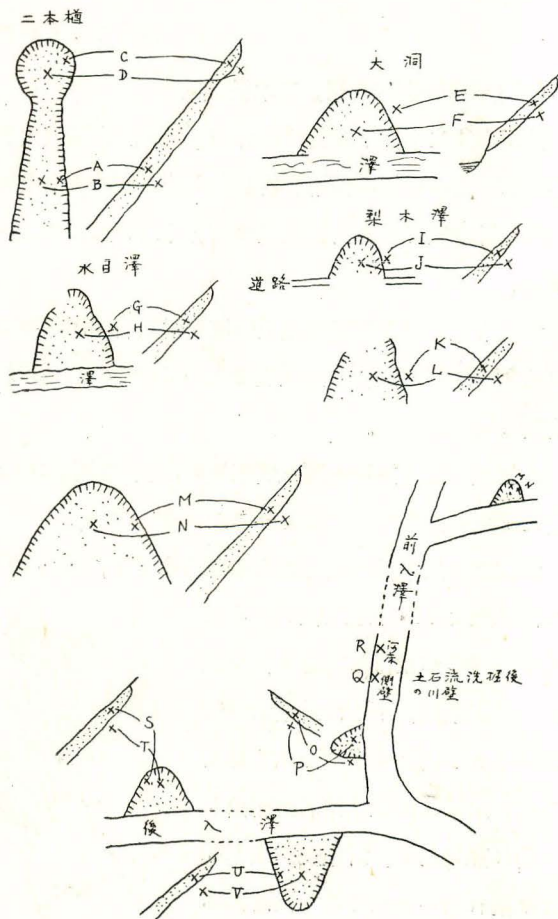
根利川、片品川流域では崩壊地は極めて少く、古生層硬砂岩の露出地に rock fall (写真 6) を起している程度で、洪水時山腹よりの土砂流出は見られないが、流路の岸が侵蝕される事は甚しく其の欠壊は相当見られ、溪床も相当変遷あるものと思われる。

根利流域は林相、土質共に良く、土質はローム質の所謂赤土で粘着力強い安定した土で、林相は小崩壊地ならば崩壊地の両側より伸びる根や、侵入する雑木、雑草で自然回復して裸地を被覆している処も数ヶ所あり、崩壊に対しては安定しているが、割に滲透度の小さい土質と急傾斜の為、相当量以上の降雨の場合は地被物のみでは緩和出来ず、大降雨時の流出の早い点で災害を起している。現在根利に既設堰堤一個、施工中のもの一個、他に計画中のものもあり、南郷附近に一個施工中であるが、根本的には堰堤、護岸の外に遊水池を設け出水を緩和する必要があると思われる。

## Ⅱ 土質試験

崩壊の機構を究明し其の防止方法を考えるには、土の力学的性質を知らねばならぬので、赤城山及び比較の為榛名山に於いて地質の異なる各地より任意抽出的に第 26 図の如く 20 箇所の崩壊地を選び、各崩壊地より崩壊部分の土と其の下層の崩れなかつた部分の土を採取して比較した。但し崩壊部の土は泥流となつて運ばれてしまつているが多いので、其の場合は崩壊地の側面より採取した土を以て之に代えた。

運搬中の箱の破壊や実験中の試料消耗の為、20 箇所 40 の土を悉く試験する事は出来なかつたが、崩壊に与る土質因子の大要は知る事が出来た。測定結果を表示したのが第 12 表である。



第 26 図 土壌採集場所



第 12 表

| 試料<br>記号 | 場処  | 基岩     | 有効<br>径<br>mm | 均等<br>度 | 透水係数<br>(cm/sec) | 流出<br>限界 | 耐水<br>度<br>(秒) | 内部摩<br>擦角 | 凝集力<br>kg/cm <sup>2</sup> | 左の<br>含水<br>率% | 内部摩<br>擦角 | 凝集力<br>kg/cm <sup>2</sup> | 左の<br>含水<br>率% | 内部摩<br>擦角 | 凝集力<br>kg/cm <sup>2</sup> | 左の<br>含水<br>率% | 内部摩<br>擦角 | 凝集力   | 左の<br>含水<br>率% | 内部摩<br>擦角 | 凝集力   | 左の<br>含水<br>率% | 内部摩<br>擦角 | 凝集力   | 左の<br>含水<br>率% |
|----------|-----|--------|---------------|---------|------------------|----------|----------------|-----------|---------------------------|----------------|-----------|---------------------------|----------------|-----------|---------------------------|----------------|-----------|-------|----------------|-----------|-------|----------------|-----------|-------|----------------|
| A        | 二本橋 | 熔岩集塊岩  | 0.094         | 5.96    | 0.00406          | 0.92     | 23.4           | 15°52'    | 0.124                     | 17             | 14°56'    | 0.120                     | 29             | 7°41'     | 0.191                     | 42             | 11°57'    | 0.142 | 45             | 4°21'     | 0.270 | 46             |           |       |                |
| B        | 〃   | 〃      | 0.018         | 10.17   | 0.00299          | 0.79     | 38.5           | 9°32'     | 0.254                     | 14             | 14°24'    | 0.129                     | 21             | 12°32'    | 0.136                     | 32             | 9°43'     | 0.193 | 43             |           |       |                |           |       |                |
| C        | 〃   | 〃      |               |         |                  | 1.00     |                | 17° 0'    | 0.195                     | 13             | 8°33'     | 0.272                     | 20             | 9°43'     | 0.186                     | 30             | 7°38'     | 0.1 6 | 37             | 7°34'     | 0.186 | 41             | 6°20'     | 0.193 | 42             |
| D        | 〃   | 〃      |               |         |                  | 1.04     |                | 9°58'     | 0.271                     | 14             | 10°15'    | 0.136                     | 41             | 6°23'     | 0.197                     | 47             | 8°22'     | 0.234 | 49             |           |       |                |           |       |                |
| E        | 大洞  | 火山岩層   | 0.116         | 14.22   | 0.00168          | 0.33     | 29.2           |           |                           |                |           |                           |                |           |                           |                |           |       |                |           |       |                |           |       |                |
| F        | 〃   | 〃      | 0.075         | 14.40   | 0.00111          | 0.61     | 57.6           |           |                           |                |           |                           |                |           |                           |                |           |       |                |           |       |                |           |       |                |
| G        | 水目沢 | 古生層    | 0.125         | 6.88    | 0.00356          | 0.75     | 39.6           | 14°19'    | 0.142                     | 6              | 13°27'    | 0.016                     | 19             | 19°24'    | 0                         | 28             | 8°58'     | 0.142 | 33             | 13°19'    | 0.051 | 34             | 10°33'    | 0.067 | 35             |
| H        | 〃   | 〃      | 0.104         | 13.94   | 0.00187          | 0.45     | 98.4           | 12°23'    | 0.115                     | 8              | 7° 6'     | 0.188                     | 27             | 9°35'     | 0.149                     | 30             | 12° 5'    | 0.221 | 33             | 13°21'    | 0.002 | 34             | 12°30'    | 0.072 | 35             |
| I        | 梨木  | 凝灰質集塊岩 | 0.047         | 13.20   | 0.00215          | 0.28     | 25.9           | 10°47'    | 0.175                     | 1              | 12°53'    | 0.112                     | 6              | 6°15'     | 0.145                     | 9              | 6°34'     | 0.140 | 16             | 8°17'     | 0.146 | 18             | 7°39'     | 0.144 | 19             |
| J        | 〃   | 〃      | 0.060         | 14.16   | 0.00182          | 0.25     | 28.4           | 17°36'    | 0                         | 1              | 10°15'    | 0.004                     | 5              | 19°39'    | 0.004                     | 6              | 10°47'    | 0.091 | 12             | 15°47'    | 0.069 | 17             |           |       |                |
| K        | 〃   | 〃      | 0.073         | 12.26   | 0.00177          | 0.52     | 48.9           | 10°10'    | 0.124                     | 4              | 13°35'    | 0.024                     | 9              | 13°40'    | 0.038                     | 17             | 11°40'    | 0.064 | 22             | 11°29'    | 0.070 | 24             | 7°33'     | 0.144 | 29             |
| L        | 〃   | 〃      | 0.051         | 18.23   | 0.00107          | 0.28     | 457.0          | 16°25'    | 0.107                     | 4              | 20°44'    | 0.005                     | 10             | 19°15'    | 0.012                     | 14             | 19°33'    | 0.023 | 16             | 14°13'    | 0.125 | 19             | 13°41'    | 0.136 | 22             |
| M        | 前入沢 | 〃      |               |         |                  |          |                |           |                           |                |           |                           |                |           |                           |                |           |       |                |           |       |                |           |       |                |
| N        | 〃   | 〃      | 0.098         | 10.10   | 0.00254          | 0.28     |                | 21°38'    | 0                         | 1              | 15°54'    | 0.099                     | 6              | 13°45'    | 0.154                     | 10             | 7°52'     | 0.206 | 13             | 8°41'     | 0.177 | 18             | 9°46'     | 0.152 | 20             |
| O        | 〃   | 火山岩層   | 0.069         | 11.50   | 0.00261          | 0.47     | 57.9           | 8°49'     | 0.211                     | 7              | 11°42'    | 0.145                     | 16             | 8°22'     | 0.161                     | 22             | 11° 3'    | 0.153 | 30             | 10°10'    | 0.202 | 31             | 8°13'     | 0.184 | 34             |
| P        | 〃   | 〃      |               |         | 0.00222          | 0.69     | 94.5           | 22°25'    | 0.078                     | 8              | 16°42'    | 0.011                     | 16             | 12°37'    | 0.122                     | 22             | 12°59'    | 0.121 | 29             | 7°47'     | 0.233 | 33             | 5°47'     | 0.28  | 33             |
| Q        | 〃   | 沢側壁    | 0.089         | 11.24   | 0.00255          | 0.23     |                | 13°20'    | 0.199                     | 1              | 18°56'    | 0.058                     | 7              | 11°30'    | 0.150                     | 11             | 8°20'     | 0.152 | 13             | 10°45'    | 0.065 | 14             | 7°41'     | 0.136 | 16             |
| R        | 〃   | 〃      | 0.125         | 4.72    | 0.01183          | 0.30     |                | 12°42'    | 0.254                     | 1              | 12°20'    | 0.131                     | 7              | 10°41'    | 0.118                     | 8              | 7°40'     | 0.154 | 11             | 8° 1'     | 0.121 | 14             | 5°57'     | 0.166 | 19             |
| S        | 後入沢 | 凝灰質集塊岩 | 0.119         | 6.70    | 0.00599          | 0.30     |                | 15°21'    | 0.059                     | 3              | 16°49'    | 0.137                     | 11             | 21°29'    | 0.019                     | 14             | 13°53'    | 0.119 | 21             | 13° 8'    | 0.079 | 22             | 13°43'    | 0.086 | 23             |
| T        | 〃   | 〃      | 0.228         | 10.10   | 0.00154          | 0.32     |                | 17°45'    | 0.037                     | 3              | 21°12'    | 0.013                     | 11             | 18°36'    | 0.082                     | 15             | 15°46'    | 0.070 | 18             | 13° 1'    | 0.089 | 21             | 10°26'    | 0.132 | 23             |
| U        | 〃   | 〃      | 0.065         | 8.70    | 0.00317          | 0.35     |                | 11°27'    | 0.115                     | 4              | 9°55'     | 0.126                     | 11             | 11°20'    | 0.119                     | 19             | 14°19'    | 0.097 | 23             | 8°51'     | 0.200 | 28             | 10°41'    | 0.105 | 31             |
| V        | 〃   | 〃      | 0.094         | 9.36    | 0.00292          | 0.33     | 176.2          | 13°23'    | 0.028                     | 2              | 11°50'    | 0.145                     | 9              | 13°15'    | 0.137                     | 15             | 9°18'     | 0.233 | 16             | 10°26'    | 0.110 | 18             | 10°38'    | 0.117 | 31             |
| W        | 〃   | 覆輝石安山岩 |               |         |                  | 0.52     |                | 11°47'    | 0.127                     | 7              | 15°31'    | 0.116                     | 25             | 21°40'    | 0.027                     | 28             | 17°50'    | 0.069 | 30             | 14°52'    | 0.116 | 34             | 11° 4'    | 0.117 | 35             |
| X        | 榛名山 | 凝灰質集塊岩 |               |         |                  | 0.56     |                | 12° 5'    | 0.112                     | 4              | 15°33'    | 0.039                     | 24             | 11°14'    | 0.230                     | 26             |           |       |                |           |       |                |           |       |                |
| Y        | 〃   | 〃      |               |         |                  | 0.27     | 146.5          | 9°56'     | 0.974                     | 1              | 15°33'    | 0.009                     | 11             | 11°33'    | 0.117                     | 16             | 11°24'    | 0.079 | 17             |           |       |                |           |       |                |
| Z        | 〃   | 〃      |               |         |                  | 0.25     |                | 16°52'    | 0                         | 1              | 14° 1'    | 0.058                     | 11             | 9°22'     | 0.111                     | 15             | 5°54'     | 0.158 | 17             |           |       |                |           |       |                |

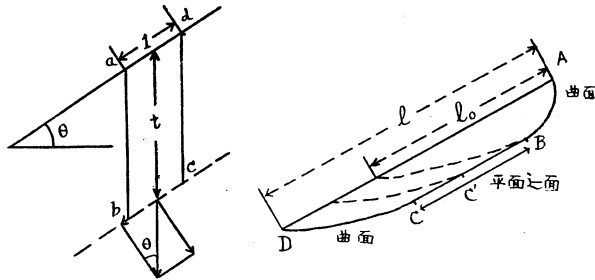
赤城山山崩に関する研究 (川口・渡辺・瀧口)

## 1. 剪断試験

剪断試験は  $4 \times 4 \times 6\text{cm}$  の三割箱の携帯用豆型剪断試験機 (写真 21) を使用した。測定結果より内部摩擦角, 凝集力の水分による変化状況は第 12 表の如く示される。

地辻型崩壊については, 安藏博士の新しい Rankine 土圧論的考察法に基く地辻理論<sup>9)</sup>が崩壊機構を説明するのには優れて居り, 又現実と合致すると思われるので, 之に基き剪断試験結果を考察してみる。

安藏博士の地辻理論は, 地辻発生に対する力学的要素として第 27 図の如く土地の傾斜  $\theta$ ,



第 27 図

斜面の長さ  $l$ , 土層の厚さ  $t$ , 土の単位重量  $\rho$ , 内部摩擦角  $\varphi$ , 凝集力  $K_s$ , 土の引張強さ  $K_t$  が考えられ, 最初の 4 つは地辻発生を促進する要素として働き, 後の 3 つは地辻発生を防止する要素として働く。法面  $ad$  は  $\theta < \varphi$  なら

ば凝集力が働かなくとも安定であるが,  $\theta > \varphi$  ならば土層の厚さが或程度以下でなければ不安定である。土層の一部  $abcd$  が辻らない為に次式が成立しなければならぬ。

$$pt \cos \theta \sin \theta < pt \cos^2 \theta \tan \varphi + K_s$$

$$\text{即ち } t < \frac{K_s \cos \varphi}{\rho \cos \theta \sin(\theta - \varphi)} = t_0 \dots \dots \dots (1)$$

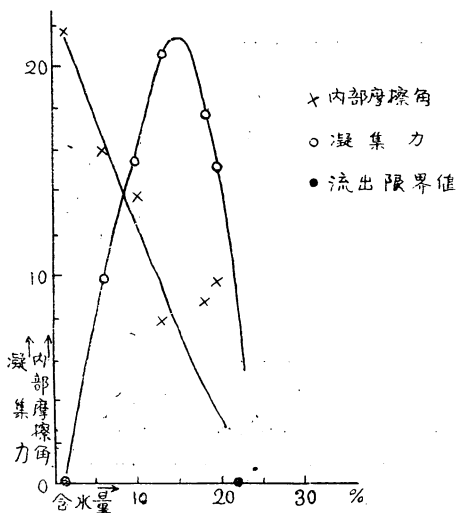
(1) 式は地辻が発生するか否かの限界深を示すが, 又 5 要素の相互関係を表わす式である。 $t$  が一定値  $t_0$  より大きくなれば第 27 図の  $bc$  面が辻面となつて地辻が起る。此の辻面は直線であるが第 27 図に示す如く上下両端附近で曲面となり, 平面部分  $bc$  の長さは  $l$  と共に変化し,  $l$  が  $l_0$  となれば平面辻り面の部分は無くなり全部曲面辻面となる。安藏博士の実験結果によると此の  $l_0$  が地辻発生を可能ならしめる斜面長の最小限で, 斜面長が  $l_0$  より小ならば  $t$  が  $t_0$  以上でも辻りを起さない。地辻防止策としては地辻要素を発生不可能にする事と, 辻面の形成の妨害が考えられる。

以上が安藏博士の地辻理論の大要であるが, 今傾斜が  $30^\circ$  及び  $35^\circ$ , 土層の厚さ  $1.0\text{m}$ ,  $1.5\text{m}$ ,  $2.0\text{m}$ , 内部摩擦角  $20^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $5^\circ$ , 土の比重  $1.5$ ,  $1.8$  の時, 地辻を起さない為の凝集力の限界値を (1) 式で求めてみると, 第 13 表の如くである。

内部摩擦角, 凝集力は含水量の増大により小さな値となるが, 内部摩擦角は含水量の増加と共に漸減するのが普通で, 凝集力は含水量の増加により漸減するのではなく或る含水量で最大値となり其の後の含水量の増加で急減するのが普通で, 従つて抵抗力としては両者組合わされた抗剪力として働くが, 含水量の変化と内部摩擦角, 凝集力の関係を試料 N について示したのが第 28 図である。

第 13 表  $K_s$  の値 ( $\text{kg/cm}^2$ )

|                 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\theta^\circ$  | 30    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| tm              | 1.0   | 1.5   | 2.0   | 1.0   | 1.5   | 2.0   | 1.0   | 1.5   | 2.0   | 1.0   | 1.5   | 2.0   |
| $\varphi^\circ$ | 5     |       |       |       |       |       | 10    |       |       |       |       |       |
| $\rho$          | 1.5   |       |       | 1.8   |       |       | 1.5   |       |       | 1.8   |       |       |
| $K_s$           | 0.055 | 0.083 | 0.110 | 0.066 | 0.099 | 0.132 | 0.045 | 0.068 | 0.090 | 0.054 | 0.081 | 0.108 |
| $\theta^\circ$  | 30    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| tm              | 1.0   | 1.5   | 2.0   | 1.0   | 1.5   | 2.0   | 1.0   | 1.5   | 2.0   | 1.0   | 1.5   | 2.0   |
| $\varphi^\circ$ | 15    |       |       |       |       |       | 20    |       |       |       |       |       |
| $\rho$          | 1.5   |       |       | 1.8   |       |       | 1.5   |       |       | 1.8   |       |       |
| $K_s$           | 0.035 | 0.052 | 0.070 | 0.042 | 0.063 | 0.084 | 0.024 | 0.036 | 0.048 | 0.029 | 0.043 | 0.058 |
| $\theta^\circ$  | 35    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| tm              | 1.0   | 1.5   | 2.0   | 1.0   | 1.5   | 2.0   | 1.0   | 1.5   | 2.0   | 1.0   | 1.5   | 2.0   |
| $\varphi^\circ$ | 5     |       |       |       |       |       | 10    |       |       |       |       |       |
| $\rho$          | 1.5   |       |       | 1.8   |       |       | 1.5   |       |       | 1.8   |       |       |
| $K_s$           | 0.062 | 0.093 | 0.123 | 0.074 | 0.111 | 0.148 | 0.053 | 0.079 | 0.105 | 0.063 | 0.095 | 0.127 |
| $\theta^\circ$  | 35    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| tm              | 1.0   | 1.5   | 2.0   | 1.0   | 1.5   | 2.0   | 1.0   | 1.5   | 2.0   | 1.0   | 1.5   | 2.0   |
| $\varphi^\circ$ | 15    |       |       |       |       |       | 20    |       |       |       |       |       |
| $\rho$          | 1.5   |       |       | 1.8   |       |       | 1.5   |       |       | 1.8   |       |       |
| $K_s$           | 0.044 | 0.065 | 0.087 | 0.052 | 0.077 | 0.104 | 0.034 | 0.051 | 0.068 | 0.041 | 0.058 | 0.081 |



第 23 図

第 12 表の測定値と第 13 表の計算値を比較してみると、崩壊部の土（上層）も下層の土も内部摩擦角が  $5^\circ$  即ち試料の含水量が流出限界に近い値の時でも、凝集力は足りない為の限界値より大きい。従つて含水量の増大による抗剪力の低下により辻つたとは考えられぬ。

又崩壊部と下層で内部摩擦角、凝集力に差があるとも認められぬ。

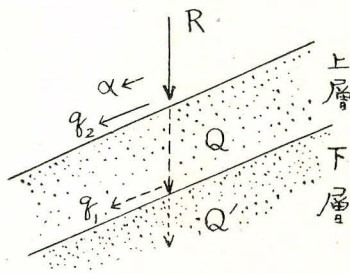
## 2. 透水性試験

土が火山灰であるので現地の状態のまゝ形を保持して持帰る事が不可能であつたので、採取箱に詰めて持帰つた上層（崩壊部）と下層の土

を比較の爲両者同じ条件で透水試験機(写真19)により試験を行つた。

上層と下層の境ははつきりしたものではないが、上層が下層より透水性が大きいと上層を透過した雨水は下層との境で溜り境に沿つて潜流し、之が原因で上下両層が分離して崩壊する事が考えられる。

勿論此の場合上層を透過して来る雨水が下層に滲透する暇を与えず次々と溜る程の雨量の場合に始めて潜流となるので、今雨量を  $R$ 、透水性が一定に達した時の上層、下層の透水量を



第 30 図

$Q, Q'$  とし (第 30 図), 斜面では雨の一部は地表流水となるので其の割合を  $\alpha$  とすると,  $R(1-\alpha) \leq Q'$  の時は潜流を生じないが,  $Q \geq R(1-\alpha) > Q'$  となると上下両層の境に  $R(1-\alpha) - Q'$  の水が残る, 始めは境面を流れていた水は次第に増し, 潜流の厚さが上層一帯に及ぶ訳である。一方  $Q < R(1-\alpha)$  となれば  $R - Q$  丈地表流下として流出し, 雨滴の衝撃力と共に表面侵蝕を促進する事となるが, 下層が透水量少いと上層が早く飽水状態に達し, 上層全体を水が流れる様になると降雨の殆どが地表流下水となる訳である。

採取した赤城の土で透水量が安定した時の透水性係数 (cm/sec) を上下両層対比したのが 第 14 表

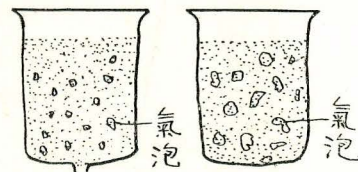
| 上層記号  | A                     | E                     | G               | I               | K               | S               | U               | O               |
|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 透水性係数 | $4.06 \times 10^{-3}$ | $1.68 \times 10^{-3}$ | $3.56 \times "$ | $2.15 \times "$ | $1.77 \times "$ | $5.99 \times "$ | $3.17 \times "$ | $2.61 \times "$ |
| 下層記号  | B                     | F                     | H               | J               | L               | T               | V               | P               |
| 透水性係数 | $2.99 \times 10^{-3}$ | $1.11 \times 10^{-3}$ | $1.87 \times "$ | $1.82 \times "$ | $1.07 \times "$ | $1.54 \times "$ | $2.92 \times "$ | $2.22 \times "$ |

透水円筒内の土の詰め方<sup>29)</sup>

透水性試験を行うに当り透水円筒内の土の詰め方を定める為次の予備実験を行つた。

ビーカーの底部に径約 1cm の穴をあけ (第 29 図) 0.15mm の砂を次の諸方法で詰めて土壌中の空気の除去を観察した。

- (1) 乾燥砂を息角に沿つて落し後水を加える。
  - (i) 上部より水を静かに送る。
  - (ii) 下部より水を静かに送る。
- (2) ビーカー内の底穴を閉じ水を半分位満たし静かにかき廻しつゝ砂を入れる。
- (3) 底部より水を送りつゝ砂を静かに落して行く。



第 29 図

以上の実験をビーカーガラスを通して観察した結果、土の空気を除去するには (2), (3) を折衷した方法がよい事を確かめた。

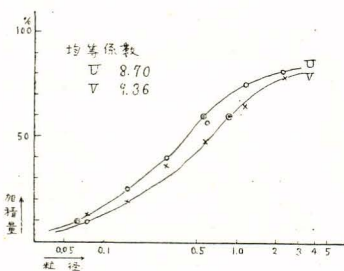
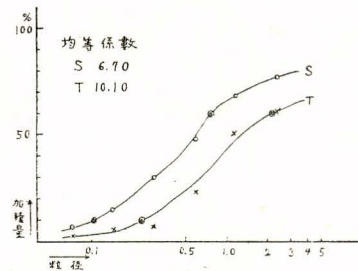
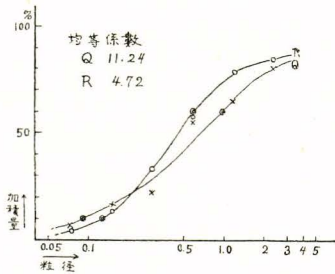
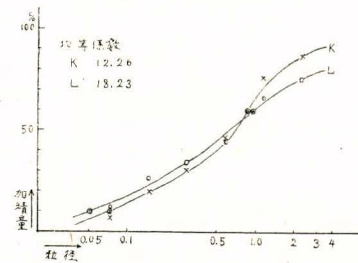
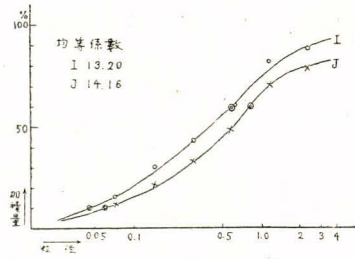
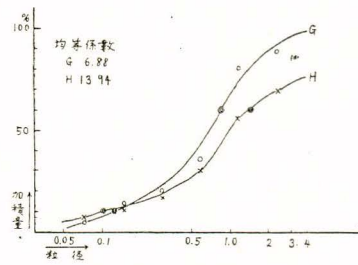
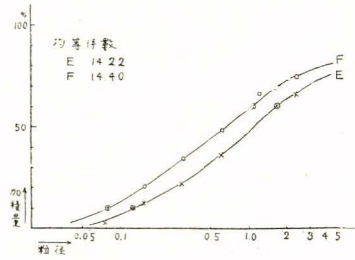
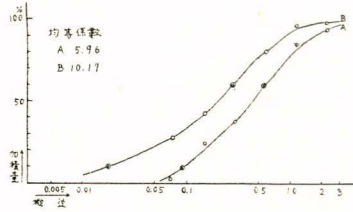
透水円筒内の底部より 1.5~2.0cm 迄の小石を敷き、次に極く目の大きな布で被い、底部より徐々に水を送りながら試料を上部より静かに落とし、かき廻しながら一定の高さに到らせる。上部も下部同様に 1.5~2.0cm の小石で被い (其の時は既に筒内は満水してある), 上蓋を閉じ、暫く下部より水を送りつゞけて上部の管より溢流させ、予め満水しておいたゴム管に連結する。



14 表である。

第 14 表の値より上下両層の透水係数の差を求めると次表の如くである。

| 記号 | A-B                   | E-F                   | G-H             | I-J             | K-L             | S-T             | U-V             | O-P             |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 差  | $1.07 \times 10^{-3}$ | $0.57 \times 10^{-3}$ | $1.69 \times "$ | $0.33 \times "$ | $0.70 \times "$ | $4.45 \times "$ | $0.25 \times "$ | $0.39 \times "$ |



前表で S-T の  $4.45 \times 10^{-3}$  の値丈は特に大きいので Thompson の棄却検定を行つてみると、次表の如く

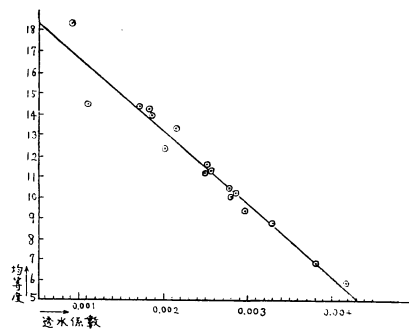
| $F_0$ | F       | $\alpha$ |
|-------|---------|----------|
| 28.51 | > 13.74 | 0.01     |

S-T は例外的に大きいと認められる。残りの7つについて差の母平均値は0であるとの帰無仮説を立て検定すると、次表の如く

| $F_0$ | F      | $\alpha$ |
|-------|--------|----------|
| 8.33  | > 5.99 | 0.05     |

$F_0 > F$  で仮説は棄却され、非常に大きい S-T の値を除外した残りについても、上層は下層より透水性が大きい。

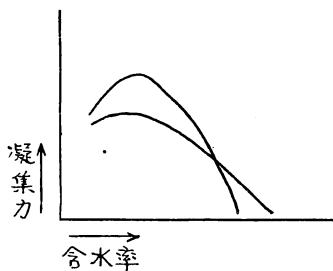
透水試験を行つた土について粒度組成、均等係数を求めてみると第 31 図の如くなる。均等係数と透水性の関係を示すと第 32 図の如く直線関係となるから、本試験に用いた様な灰砂土では粒度組成により透水性が或程度判定出来るが、粘土質が多い処は透水性は土の構造に左右される事が大であるので粒度組成から透水性の推察は出来ない。



第 32 図

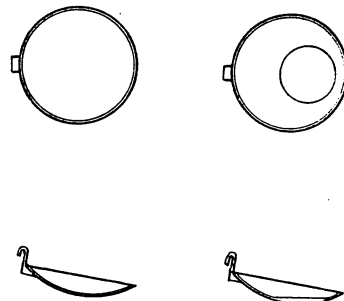
### 3. 流出限界試験

滲透した雨水が潜流となると上層の崩壊を促すことになるが、剪断試験に於て剪断抵抗力が0となる含水率が小さいと、降雨の滲透により抵抗力を失つて崩壊流亡する事が早い訳である。



第 33 図

る。第 33 図に示す如く凝集力の最大値は他の土壤に比べて大きくても、含水量が増すに従つて凝集力が急減し、零の値をとる含水率は他に比べて小さい土壤もあり、最大凝集力は左程大きくなくても含水量が可成り大きくなる迄凝集力を失わない



第 34 図

ものもあり、内部摩擦角についても同様のことが云えるが、剪断試験では剪断箱より水が浸出して抗剪力が零となる含水量迄は測定出来ないのので、之を補い且つ流出限界値が崩壊に対して上下層で差異を表している

かどうかを調べる為に本試験を行つた。

流出限界の測定に当り試験器の性質から砂質土は粘質土の如く試験器のカムに馴染まず、つて幾分小さい含水比が得られるので、第 34 図の如くカムの底の試料を容れる部分を平にしたものを用いてみたが (写真 20)、砂質土は平底がよいが、ロームに近い火山灰や粘土分の稍々多い火山灰では従来のカムを用いた方がよく思われたので、本試験では従来の一般に用いられている流出限界測定器 (写真 20) を用いた。

測定した流出限界の値 (含水比) を上下両層対比したのが第 15 表である。

第 15 表

| 上層記号 | A    | C    | E    | G    | I    | K    | O    | S    | U    |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 流出限界 | 0.92 | 1.00 | 0.33 | 0.75 | 0.28 | 0.52 | 0.47 | 0.30 | 0.35 |
| 下層記号 | B    | D    | F    | H    | J    | L    | P    | T    | V    |
| 流出限界 | 0.79 | 1.04 | 0.61 | 0.45 | 0.25 | 0.28 | 0.69 | 0.32 | 0.33 |

第 15 表の値より上下両層の流出限界の差を求めると次表の如くである。

| 記号 | A-B  | C-D   | E-F   | G-H  | I-J  | K-L  | O-P   | S-T   | U-V  |
|----|------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|------|
| 差  | 0.13 | -0.04 | -0.28 | 0.30 | 0.03 | 0.24 | -0.22 | -0.02 | 0.02 |

前表の差の母平均値は 0 であるの帰無仮説を立て検定すると、次表の如く

| $F_0$ | F      | $\alpha$ |
|-------|--------|----------|
| 0.08  | < 5.32 | 0.05     |

$F_0 < F$  で仮説は棄却されず、上層と下層では流出限界の差は認められぬ。

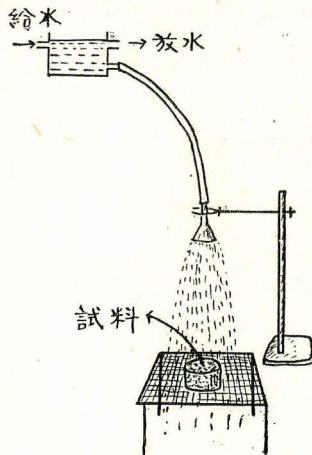
一般に流出限界の値は関東ローム 1.0、白粘土<sup>33)</sup> 0.5 (含水率にして関東ローム 50%、白粘土 35% 程度) 程度であるので、第 15 表の値と比較してみると、本試料の流出限界は特に低いとは云えぬが、前入沢の河側壁から取つた 0.23 と云う様な低い値の土では潜流による地中水の動きが容易に土砂を動かし得る事を示して居り、流出限界値の特に低い処では潜流が強ければ、崩壊土砂流とそれに続く流水が無くとも溪床自体が土石流となつて流出する可能性を示している。

#### 4. 耐水度試験

土塊を水中に入れると多くの場合吸水につれて分解し全く原形を留めなくなるが、或種の土では長時間よく水に耐え原形を崩さないものもある。雨滴の衝撃力と地表流下水の作用により土壌の侵蝕が起るが、耐水性の少い土壌程流出亡度が高い訳である。赤城山の土壌は結合力が乏しく、乾いた時はモルタル状で一見安定している如く思われるが、水に会えば忽ち分解して流

れる性質を有し、其の程度を他の土壤と比較する為次の実験を行つた。

試料を捏ねて径 5cm、高さ 3cm の円筒をつくり風乾後、水中の金網の上に置き分解して網目から全部落ちる時間を測定したが、此の方法では土によつては水中に漬けるや分解して水が



第 35 図

濁り網目上に残つているか否か判らなくなるものがあつたので、試料を金網の上に乗せ第 35 図 (写真 22) の如き装置で上より撒水器で人工降雨を降らせ、金網上に残らなくなる迄の時間を測定した。金網は 30 番線、3mm 間隔で、降雨面積は径約 20cm の円形、降水量は毎分 2l で天然の降雨に比べると遙かに多い 1 時間 382mm 程度となり、現地の降雨時の分解機構を再現する事は出来なかつたが、赤城山の土壤が他の土壤に比べ極めて耐水性に乏しい事は判かつた。比較土壤としては林業試験場構内の赤土、畑土、静岡県由比地辻地の粘土を用いた。測定結果は第 16 表に示す如くである。

第 16 表

|      |       |      |      |      |       |      |       |
|------|-------|------|------|------|-------|------|-------|
| 上層記号 | A     | E    | G    | I    | K     | O    |       |
| 耐水度  | 23.4秒 | 29.2 | 39.6 | 25.9 | 48.9  | 57.9 |       |
| 下層記号 | B     | F    | H    | J    | L     | P    | V     |
| 耐水度  | 38.5秒 | 57.6 | 98.4 | 28.4 | 457.0 | 94.5 | 176.2 |

K—L の -408.1 は特に大きいので Thompson の棄却検定で除いても、他の 5 つについて差の母平均値は 0 であるとの帰無仮説を立て検定すると次表の如く、やはり上層が下層より小であるが、粘土が崩壊し去るのに約 2 時間を要し、赤土では全く変化無いのに、赤城火山灰では殆ど 1 分内外で崩れている。崩壊地の土層、下層共に耐水度は小さいので、上層が潜流で崩壊した後も下層に深い雨裂を生じたり、雨の当つた処は直ぐ流れ去り石を戴いた部分が土柱として残り易い訳である。

| 記号 | A—B   | E—F   | G—H   | I—J  | O—P   | F <sub>0</sub> | F      | $\alpha$ |
|----|-------|-------|-------|------|-------|----------------|--------|----------|
| 差  | -15.1 | -28.4 | -58.8 | -2.5 | -36.5 | 8.24           | > 7.71 | 0.05     |

#### Ⅳ 災害の原因

##### 1. 天然素因

##### (1) 地 質

小野寺氏<sup>24)</sup>は赤城山の沼尾川、荒砥川、粕川、梨木沢流域について次表の如く集塊岩が最も崩壊地の多いのを示している。



| 地 質     | 安山岩 | 集塊岩 | 礫層 |
|---------|-----|-----|----|
| 分布面積の % | 20  | 68  | 12 |
| 崩壊地数の % | 6   | 82  | 12 |

赤城山は山頂部は安山岩質熔岩で比較的崩れ難いが、それ以下の中腹部は最も崩れ易い集塊岩（熔岩質のものより凝灰質のものゝ方が崩れ易い）と集塊岩、火山灰等の噴出物の堆積である火山岩屑<sup>23)</sup>、礫層<sup>24)</sup>で形成され、赤城山は地質的には崩れ易い山である。

## (2) 地 形

赤城山の地形については辻村博士の報告<sup>25)</sup>があるが、東北の晩壮年期の斜面を除いては開析の進んでいない幼年期から壮年期の地形で、一つの谷の集水面積はかなり大きく谷壁の傾斜も大で、地形的には崩れ易い時期にある。

地質的及び土質的には第 12 表の如く似た近くの榛名山がやはり或程度崩壊、小土石流は起つてはいるが赤城山に比し被害の少い事は、赤城山に比しカスリン台風時の雨量が少かつた事も勿論関係しているが、榛名山は地形的には赤城山に比し開析の進んだ老年期に近い様な山体である事が大きな原因と考えられる。

## (3) 土 質

土質試験の処で述べた如く、赤城山の土壤は上層は下層より透水性が大きく上下両層の境より潜流を生じて崩壊し易く、流出限界値も 0.2 程度の非常に低い値を示す処もあつて流出し易く、又耐水度は小さく、集塊岩等を母材とする赤城山の土壤は土質力学的に見ても崩れ易く流れ易い性質である。

## 2. 天然誘因

過去に於いても赤城山は 50 年<sup>2)</sup>に 1 回程度の災害を起しているのが記録により知られるが、今回の如き大災害を起した事については過去にどの程度の降雨の試練を受けていたか、Pluvial index を考えてみる必要がある。最大日雨量を比較してみると次表<sup>26)</sup>の如くである。

| 場 処   | 既往 mm | カスリン台風時 mm |
|-------|-------|------------|
| 沼 田   | 117.0 | 174.4      |
| 前 橋   | 201.8 | 204.5      |
| 桐 生   | 121.8 | 255.0      |
| 万 場   | 345.2 | 237.8      |
| 下 仁 田 | 246.7 | 198.2      |
| 三 の 倉 | 309.1 | 247.1      |

前表の如く赤城山附近はカスリン台風時が新記録であるが、同じ群馬県でも赤城山を離れた地方は新記録でなく、群馬県内でも赤城山に特に災害の著しかつた理由も降雨量の多かつた事に求める得る。

又赤城山附近でも前表の山麓の地方の降雨量より赤城山頂近くの高処程降雨量が大きであつた事は想像に難くなく、現地の方の言でも非常に降雨が強く大であつた事を種々の言葉で表現しているが、赤城山頂附近には雨量観測所も無く実測値が得られないが、大沼の湖水位の変化より略算すると<sup>27)</sup>、14日～15日の降雨量は 450～500mm と想定される。

又水害に直接関係する河川最高水位を過去と比較してみると<sup>27)</sup>次表の如くである。

| 場 処       | 既往 m | カスリン台風時 m |
|-----------|------|-----------|
| 利根川 水 上   | 6.00 | 8.00      |
| 〃 川 田     | 4.20 | 6.20      |
| 〃 前橋曲輪    | 4.80 | 5.30      |
| 片品川 糸 の 瀬 | 6.66 | 9.00      |
| 粕 川 殖 蓮   | 3.70 | 4.40      |
| 荒砥川 大 胡   | 3.31 | 4.80      |

前表の如く赤城山附近は何れもカスリン台風時が新記録であり、単に水丈でなく土石流による流出土砂が加わつて下流の被害をより大きくしたものである。

### 3. 人工誘因

#### (1) 森 林

風によつて林木が揺られ崩壊を促す点については、今回のカスリン台風がその降雨量に比しては余り強い風を伴わなかつたので、森林の此の点の欠陥は余り問題とならぬと考えられる。

赤城山の地質、土壤では森林根系が地中深く侵入し得ず、又同齡広葉樹林が多く厚さ 30cm 程度の板状層を形成し崩壊防止には余り有効でなかつたと考えられる。併しかゝる林地が全部崩壊した訳でも無く同様の条件の草生地で崩壊している処もあり、崩壊の原因を全部森林根系の板状層に帰するのは当らず、地質、地形、土壤等の他の因子と併せ考えねばならぬ。

又若し森林が崩壊防止に無効或いは有害であつたとしても、森林が不断の降雨による表土の侵蝕を防止して流出土砂を減少させて河床の上昇を防いでいる効果は重要視されねばならぬ。土石流の処で述べた如く、下流低地土石流は溪床そのものが流出するのであるが、不断の流出土砂による溪床の上昇は此の土石流災害を起り易く且つ大きくするので、森林による不断の表土侵蝕防止は此の土石流防止には重要な役割を有し、此の点では森林の増伐は不断の流出土砂を増大させ<sup>7) 8)</sup>、崩壊には関係無くとも土石流を起し易くしたと云える。

又土石流通過時には森林は土石流を方向転換させ人家を護る事、土石流の巨流を留止する事の効果もある。

#### (2) 土地利用状況

開拓は直接崩壊には関係しないと考えられるが、開拓による森林の伐採、耕地の拡大、道路の新設は表土侵蝕を増大して不断の雨による流出土砂を増し、溪床を高め、大雨時の土石流発生を容易ならしめる一誘因と考えられる。

赤城山は山間部は水に不自由するので止むを得ない点もあるが、人家は旧溪床地域に増築され又耕地も同様に旧溪床地域に拡大され、流路断面を次第に狭隘にした処へ、今回の如き大雨があれば土石流等による被害は甚だ大となるので、無理な土地利用状況が災害を助長した例は赤城山の処々に見られる。

### (3) 河川の保護の放擲

戦時中以来河川の改修等の積極面は勿論堤防の維持、管理等の保護の消極面も省みられず、堤防は破壊したまゝ放置され、河床は上昇したまゝで天井川式が多く、小規模な出水でも危険な状態にあつた処へ記録破りの大雨があつたので益々災害を助長したと考えられる。

## 4. 総 合

以上を総合してみると、赤城山は地質、地形、土質等は崩れ易く流出し易い処へ、記録破りの大雨があつて災害を発生し、戦時以来の森林の増伐、無理な土地利用、河川保護の放擲が此の災害を助長したもので、天然素因、天然誘因、人工誘因が何れも最悪の状態で組合わさつてかゝる大災害を惹起したのであり、原因を其の何れか一つに帰すべきものではないと考えられる。

今後かゝる大災害を再発させぬ為には以上の災害の諸原因を取除かねばならぬが、原因中天然素因、天然誘因は人為によつて変化する事は現在殆んど不可能な状態にあるので、之等の実情を明確に把握して予知、予報の消極的災害防止を図る事と、人工誘因は人為により変化可能の点が多いので之を取除く積極的災害防止を図る事の2面を併せ考えねばならぬ。

## V 災害防止方法及び復旧方法に対する考察

### 1. 崩 壊 防 止

崩壊は谷頭侵蝕の形で起る事が少なく、各沢の終りは掌状の大崩壊を生じ、梨木の上流地域では谷頭と谷頭の接する峰通りは将に消えんとするか双物の如き縁をなし、壮年末期の地貌を呈し地形学的には此の崩壊は何等特異現象でなく侵蝕輪廻の法則に従つたものであり、soil erosion の立場からは normal erosion の範囲のものであるが、我々は一時に此の崩壊を起させることなく侵蝕輪廻を緩かにし、出来る丈崩壊、侵蝕を少くし土砂を含んだ流水を安全に海迄運ぶ事を考え、崩壊、侵蝕を完全には防止出来なくとも自然の暴威の矛尖を鈍らせる事が必要である。

崩壊は一般に地表水より一旦地中に滲透した地中水により惹起され、赤城山では土壌の上下両層の透水性の差により潜流を生ずる為起る表土剝落型崩壊も多かつたが、之に対しては雨水が地中に滲透するのを阻止し、又後に述べる表土侵蝕を起す流水の地表面の自由流去を妨げる為山腹水路を設ける必要がある。又同齡広葉樹林の深さ 30cm 程度の一様な森林根系の板状層が此の表土剝落型崩壊を助長したと考えられる点もあるが、根系の network は崩壊部上端では抗張力、崩壊部周辺では抗剪力を発揮して抵抗するが、network が中断されていれば此の抵抗力は弱く且つ中断部で平衡を失つて崩壊を促進するとも考えられるので、峯から沢迄の

山腹に中断されない一連の山腹一帯を被覆する根系の network を設けて置く事が必要であり、又一様な森林根系の板状層形成を防ぐには、現在の如き深さ 30cm 程度の根系の同齢広葉樹林で無く、深根性樹種を混生させ根を種々の深さに進入させ根系層の縦断面が波状形となる様にして摩擦抵抗を増し、深根の進入困難な土層では爆破等を試みる事も考えられる。

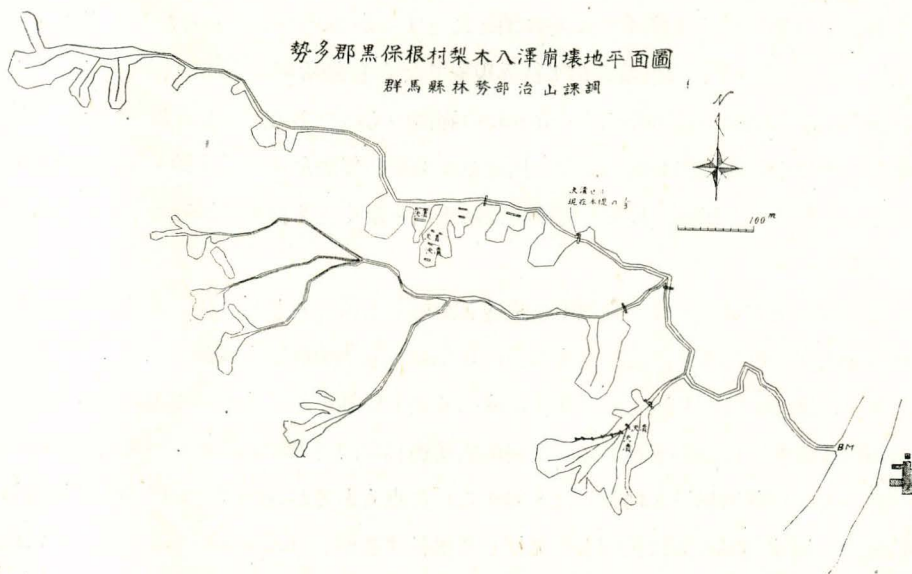
地圧型崩壊は不断湧水のある場処で基岩上を一塊となつてつたものが多いが、かゝる場処では地表水の安全な排水のみでなく、暗渠排水によつて滲透水の除去を考えねばならぬ。地圧の場合は樹根により圧面の形成を妨害する事も考えられるが、集塊岩の如き根の進入の困難な基岩では爆破等による根の進入を考える必要があり、又根は深くても 1.5m 程度であるので深い地圧型崩壊で根が圧面以下の深さに達しない時は荷重を増す危険がある。又安藏博士の云う如く<sup>5)</sup>斜面下部の林木は受働圧面の形成を妨げるが、斜面上部の根の深さが圧面以下に達しない林木は圧りを助長する。

崩壊は地質的には凝灰質集塊岩に多く、地形的には山腹凹処、山腹傾斜の変換点、谷頭が多く、傾斜は  $27^{\circ} \sim 41^{\circ}$  程度が崩れ易いので、之等の条件を具備した場処は最も崩壊防止の手段を講じなければならぬ場処である。

山腹崩壊の防止には出来る丈雨水を滲透させずに安全に地表を流下させ溪に集める事となるので、一方後に述べる如く流水による山脚、溪床の侵蝕から生ずる溪岸崩壊を防ぐ為溪床安定の方法を講じなければならぬ。

## 2. 崩壊土砂流出防止

崩壊防止の方法を広い地域に渡つて実施するのは、経費等の関係で現実には困難な場合が多いが、その場合も第二の手段として例え崩壊が生じても被害は崩壊地自体のみに留め、崩壊土





砂が下流に逆流出して下流の広い地域迄に被害を及ぼす事を防止せねばならぬ。

崩壊土砂の流出防止に大いに参考になるのは第 36 図に示す如く、梨木沢支沢の梨木入沢(湯の入沢)に曾て群馬県林務課で行つた山腹、溪に施工された砂防工事である。カスリン颱風時既設の山腹石積、床固等は一部破壊し、沢の上流では兩岸山腹より崩落した砂礫が深く堆積しているが、床固、堰堤により下流に流出するのが阻止され最下流の堰堤で流出土砂は全く阻止され梨木沢本流へは殆ど土砂流出は無かつた様で、梨木沢に直角に合流し対岸に梨木旅館を控える此の沢に本工事が無かつたら非常に大被害を惹起した事と想像される。

同様の例は既に述べた如く沼尾川後入沢支沢の旧御料林内の工事にも見られ、又災害後後入沢潜下の崩壊地に前橋営林署で堰堤、張石水路、山腹石積、筋工を施工していたが之等の例より見ても崩壊土砂の流出防止には大いに効果を挙げ得るものと思われる。

以上の如く系統的に工事が施してあれば、工事の一部が破壊しても残存工事により崩壊土砂の流出は阻止し得るので、下流のダムサイトとしては余り感心出来ぬ場処に大堰堤を設け之が破壊したりする危険に比して、系統的に山腹水路、山腹石積等の山腹工事から床固等の破壊しても危険の少い低堰堤を数多く入れる溪流工事迄一貫して行ふのが安全で且有効と考えられる。

### 3. 溪床安定

溪床の侵蝕により溪岸崩壊或いは山腹崩壊に迄及ぶものも多いので溪床安定法を講じなければならぬ。

赤城山では不断は流水は割合少いので、多数見られる水蝕溪的のものは植物性材料による工作物によつて溪床安定を図る事が考えられる。

流水も比較的多くなる本流的な沢では護岸工による溪岸の保護、床固等の低堰堤による溪床の安定が必要であるが、堰堤設置に当つては各沢の特徴、侵蝕地域と堆積地域の判定等充分な予備調査の後に設置するのが望ましい。

例えばしげりたち沢では、現在山腹の侵蝕された土砂が少しづつ溪床に運ばれても合流点迄の間で平衡を保っているが、第 14 図の A 点で大岩及び倒木が自然の堰堤となり、カスリン颱風後徐々に運ばれた砂礫が阻止され颱風直後より溪床が高まり、颱風直後の礫の多かつた溪床が砂原と化しつつある。A 点より下流でも兩岸よりの崩壊と上流よりの流出土砂が、平常は極めて流水が少い為に溪床に堆積している。併し A 点の自然の堰堤の骨子である倒木が腐朽したり、大雨があつて自然堰堤が破壊すると、堆積土砂は一举に土石流となつて流出するのは勿論であるので、堰堤を設置するには A 点が適当である。若し A 点に設けずに B 点の辺りに設ければ、それより下流が脚を洗われて流出し、又 A 点の自然堰堤が崩れれば一举に B 点の堰堤に衝突する結果となる。A 点と合流点附近の C 点に設ければ此の沢よりの流出土砂は相当阻止出来るが、溪床の砂礫の堆積が甚しく兩岸も軟弱であるので相当難工事であらう。

### 4. 土石流防止

山腹崩壊を起因とする上流高地土石流は前述の崩壊防止、崩壊土砂流出防止、溪床安定の方法によつても或程度は防止出来得る訳である。

今回山麓被害の第1の因となつた下流低地土石流は上流流域の不断の表土侵蝕が遠く素因をなしているので、根本的には流域の表土侵蝕による流出土砂を防止する事が必要である。

前入沢について考えると、カスリン颱風時8m位掘れたのが現在上流よりの流出土砂で溪床は数m上昇して、大雨があれば堆積土砂は再び土石流となる心配がある。後入沢は大沼よりの流水が不断あるので溪床の土砂堆積は行われず流域よりの流出土砂は徐々に下流に流されるが、地質、地形等余り後入沢と差の無い前入沢が刻々溪床が高まるのは、前入沢は不断流水無く流域よりの流出土砂が堆積して下流に流されない為である。

前入沢も不断流水があれば流出土砂は徐々に下流に流され溪床は高まらぬので、前入沢に水を流す事を工夫してみると、大沼より後入沢に流す水の半分を前入沢を通す事が考えられ、堅固な安山岩、熔岩、熔岩質集塊岩である頂上から鈴ヶ岳の東南麓の辺りに約1000mの隧道と更に約1000mの水路を設け大沼の水の一部を前入沢に流せば、前入沢の溪床は高まらず土石流の心配は無くなり沢は深いまゝであるので相当の出水の際も心配は無くなる。併し此の場合でも前入沢の両岸には護岸工事が必要となり隧道工、水路工、護岸工の総工費は巨額を要するし、且現在建設省で深山に大堰堤(写真14, 15)を施行しつつあるので前入沢に水を流しても土砂は堰堤で貯留され溪床は高まる事となる。

尙前入沢の溪床の土砂を徐々に流せば勿論下流で前入沢より流出して来る土砂の対策を講じなければならぬが、流出土砂は溪床に堆積して多量になれば一時に土石流となつて防止困難であるが、不断徐々に流出してくる土砂は下流で土石流の恐れのない処に貯留したり河川の浚渫を行つたり対策は容易である。

前入沢に水が流せぬので第2段として前入沢支沢よりの流出土砂が前入沢に集る事を防がねばならぬ。此の場合も各支沢と前入沢の合流点に大堰堤を設けても支沢流域よりの流出土砂で直ぐ堰堤には土砂が堆積して貯砂堰堤としての用を為さなくなるので、やはり崩壊土砂流出防止の処で述べた如く山腹工及び多数の低堰堤の系統的工事が必要であり又後述する流域の表土侵蝕防止が必要である。

土石流に対しては一般に貯砂用堰堤<sup>28)</sup>と貯砂地<sup>29)</sup>が考えられるが、前者は強度の土石流が衝突して破壊した時の被害は莫大であり、又土砂が全部充満すれば貯砂の効力は無くなり、後者は赤城山の如き飲料水にも不自由する処では溪流沿いの平坦地は部落となり危険な事ではあるが経済上止むを得ない点もあつて設置に適する場処は殆んど求められぬ。結局安全な場処に貯砂堰堤を設ける一方土砂生産の原因を防止する策を講じなければならぬ。

土石流は発生してしまえば其の留止は非常に困難であるので、土石流のエネルギーを少しでも殺ぐ緩和策を講ずべきで、障害物による土石流の安全地帯への方向転換、人家の周囲に森林

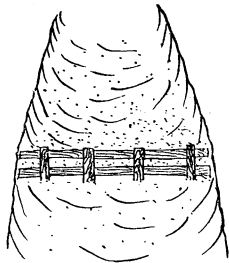
を設け土石流中の巨岩を留止する等の消極的防止策が充分活用されねばならぬ。

又堰堤が土石流で袖を抜かれたり、土石流が護岸の裏を廻つた等工作物の破壊の爲反つて被害が大きくなつた例も見られるので、工作物は充分の強度と構造を持たせる積極面と、同時に工作物が破壊されても被害が最小で済む様に設置する消極面の 2 面を併せ考えて置く必要がある。

### 5. 表土侵蝕防止

以上の各種の防止法は平時の土砂生産の因である表土侵蝕に対しては余り効果を期待出来ぬ。赤城山の土壤は耐水度の小な事からも、又崩壊跡地の雨裂を見ても表土侵蝕の大な事が判り、地被物の侵蝕防止効果は大であるので<sup>7)</sup>、地被物により雨滴の衝撃力と地表流下水の土壤分散力、掃流力を減少させる事が必要である。地被物としては森林の生立する迄には時間を要するので緊縛力が強く生長の速い密な草生を先ず仕立てる事が必要で、其の種類としては次の復旧方法で述べる事とする。

地被物植栽には土砂の移動を防止せねばならぬが、山腹石積等は効果大であるが時間と経費を要するので、赤城山の如く平常降雨量の余り多くない処は二級編柵工或いは第 37 図の如く



第 37 図

もつと簡単に杭を適宜の間隔に打つて板を打付けた程度のもので一時土砂を留止し、出来る丈早く草生を繁茂させるのも一法と思われる。此の杭と板の柵は山梨県市川大門附近の崩壊山腹に施行してまだ植栽に迄及んでいなかったが相当効果を挙げているのが見られたが、勿論永久工法ではなくても便法として利用され得ると考える。

赤城山西側及び西北側は厚さ 1m 程度の浮石層があり、此の浮石層は露出すると容易に流されるので不断の雨による表土侵蝕の点からは重大で、浮石層の露出しない様に努めねばならず、浮石層の露出した場処は他の良好な土壤で被い速かに地被物を回復させねばならぬ。或いは山腹工事を行う時水平階段面に浮石を敷並べ、植栽木の凍上被害防止に利用するのも一法と思われる。

又地表水の侵蝕力を殺ぐ為山腹水路を出来る丈多く設けて崩壊防止も兼ねさせ、山腹凹処は特に地表水が集水されるので山腹には安山岩礫が多いので之を活用した張石等堅固な水路を考えねばならぬ。

### 6. 復旧方法

以上の災害防止法と同時に崩壊跡地を生産地化する復旧方法を考えねばならぬ。従来の砂防植栽が失敗したのは立地を考えず劃一的に行つた事と植栽後の維持、管理、保護が忘却されていた事によるのが多いと考えられる。

赤城山の如く崩壊跡地が粗鬆で乾燥した処は、こうした地に良く生育出来る草生を仕立て、



立地を緩和させて後に経済樹種に替えるのが良いと思われる。

調査中の所見や従来の研究<sup>30)</sup>を参考として、崩壊跡地の植物群落の先駆をなして生育するものを考察してみる。

- (1) ス、キ (カヤ) *Miscanthus sinensis* は日本国中至る処に自生し、根に共生する菌が養分の供給をするので荒廃裸地にも好んで生育し、元来好日植物であるから日射の強い裸地によく生育する事が出来る。赤城山附近にも多数自生しているので裸地を被うに適當であると思われる。
- (2) イタドリ *Polygonum Reynoutria* は向陽向陰、乾地湿地を問わず至る処に自生し、生活力が非常に旺盛であり、根に共生する菌が養分の供給をする為に養分に極めて乏しい処にも生育するので、裸地にも繁茂し易く、赤城の裸地にもタケニグサと共生している (写真 18) のが見受けられるので裸地被覆に活用されてよい。
- (3) タケニグサ *Macleya cordata* 全国各地の禿地、路傍等に生育し他植物の繁茂している処には殆んど生育しない。土砂を緊縛する力は余り大きくないが裸地に先駆し、大きな茎、葉を持ち高さ 2m 余にも達し、過度の日射乾燥を緩和し他植物の進入生育を促す働きが著しい。赤城山崩壊地にも多数先駆進入しているのを見れば (写真 17)、先駆種として考慮されてよい。
- (4) クズ *Pueraria triloba* 山林原野に多数生育し巨大な根は比較的地中深く伸びるので、浅根性の植物に比べ崩壊に対する抵抗力大であると思われる。クズの茎は蔓性である為に四方に広く拡がり侵蝕防止には非常に強力なものであり、且複葉は広い 3 枚よりなり密生して地面を悉く被い牧草として利用出来、新緑の候放牧地として聞えた赤城山にも之を繁茂させる事が出来れば、崩壊地の緑化と同時に其の利用も高いと考えられ、倉田博士<sup>31)</sup>によれば根を植える事は病菌に負け易いので茎によつて発根させた方が良好な結果が得られると云う。
- (5) ニセアカシヤ *Robinia pseudoacacia* 砂防植栽樹種として中国地方其の他で用いられ相当成功しているが、元来外来樹種で必ずしも我国の環境に合わず砂防植栽として成功した土地であつても尙良い樹種があるとする説もあるが、他の樹種に比べ成功率が高く又赤城でも自然に進入したものが崩壊地の中に雑草と共に生育しているのがあり (写真 16)、取上げられるべき樹種と思われる。
- (6) リョウブ *Clethra barvinervis* 温帯地方山野に自生し萌芽力が強いので砂防植栽として用いられてよいと思う。赤城にも多数自生しているのが見受けられた。
- (7) ヒメムカシヨモギ *Erigeron canadensis* 砂礫上や屋根の如き養分、水分の少ないところに立派に生長し、生活力旺盛で播種用として良い。
- (8) カハラケツメイ *Cassia mimosoides* var. *nomame* 荳科一年生草本で多年生草本



に比して土地を緊縛する力は劣るけれども、土壤に硝酸塩を増加せしめて群落更新を促す先駆種として重大な働きをもつ。養分の極めて少ない礫地でも砂地でも良く生育することが出来る。

- (9) ヤハズサウ *Microlespedeza striate* カハラケツメイ同様荳科一年生草本で土砂緊縛力は弱い繁殖力が旺盛で密生し易い。又土壤中に硝酸塩を著しく増加せしめて群落更新を促す働きを有す。生育地は養分極めて乏しい礫、砂地である。
- (10) コマツナギ *Indigofera pseudo-tinctoria* 荳科多年生草本で高さは 30cm 位になるが、横に広がる傾向がある。余り密生しないが根が地中に広く広がるので、ヤハズサウ、カハラケツメイよりも遙かに洪水等に対しても安定である。
- (11) メドハギ *Lespedeza cuneata* コマツナギ同様荳科多年生草本であるが、本種は分岐の少ない 1m にも及ぶ茎を一つの株から多数叢生する。根が地中にがっちりとはがっているので水流に能く堪え、又養分の欠乏、強い日射にも能く堪えるのでコマツナギ、ヒメムカシヨモギ、イタドリ、タケノグサ等と共にススキの植栽に併せて播種すれば群落更新を促す。
- (12) その他草本ではヨモギ *Artemisia vulgaris*、灌木ではウツギの類に良く禿地先に先駆進入するものがあるので、今後之等について一層の研究が必要である。

砂防植栽には樹種、根、茎、葉の特質、土質、水分、pH、気温、地温、湿度、日射等の環境要素との関係、植栽方法等未解決の点が多いので、之等の研究が必要である。

尙赤城山は場処により冬季土壤凍結が著しいので、植栽物が凍上で滅亡するか傷められる恐れが多分にあるので、粗朶被覆工に前述の草生を播種する、或いは表土侵蝕防止の項で述べた浮石の利用等土壤凍結に対処する工法と速かに地面を被覆する植生の組合せによつて凍上を防止する事が復旧には是非必要な事である。

又従来砂防植栽地の保護、手入れを放擲していた為、砂防植栽が立派な成績を挙げ得なかつた点を忘れず、植栽地の保護、手入れを充分にして前述の崩壊防止に適する様な経済樹種に順次替えて行くのが良策と考える。適当な経済樹種としては坂口氏の報告<sup>3)</sup>を参照されたい。

## 7. 総 合

以上の災害防止方法と復旧方法を総合してみれば、要は雨水を崩壊、侵蝕を起さぬ様に安全に地表を流下させる事と、土石流は其の原因である不断の流域流出土砂を其の源で阻止する事の為には、山腹水路より始まる山腹工事と多数の低堰堤の溪流工事迄一貫した系統的な工事と草生による迅速な地面被覆が必要で、草生の活用は将来の森林造成にも欠くべからざる事である。

赤城山の如く将来にも災害を惹起する恐れのある地では、森林根系の network を中断させぬ様注意する一方、森林を仕立てるにも災害防止に適する森林を造成する事と、経済目的にの

み追われて経済的に優位な樹種を治山上望ましく無い場合迄何処にも造林する事を排除して治山第一主義で行く事が是非共必要である。飽く迄災害の危険の消滅した後に経済目的を考慮して行く漸移的な方法が取られるべきものとする。

## Ⅶ 要 約

(1) 災害防止、復旧の基礎資料を得る為約3ヶ年に亘り、赤城山災害の実態調査及び土質試験を行つた。

(2) 崩壊には表土剝落型崩壊と地土型崩壊の2種があり、又崩壊は谷頭侵蝕の形で起るのが多い。

(3) 崩壊後の地被物の無くなつた地面の表土侵蝕による流出土砂が甚だ大きく、又流出土砂により溪岸の崩壊、侵蝕、溪床の侵蝕が促進される。

(4) 傾斜の急な程崩壊は起り易く又多く強い傾向にあるが、傾斜 $42^{\circ}$ 以上は熔岩等の露出している処多く崩壊は余り起つていない。方位は崩壊には余り関係しないと考えられる。

(5) 赤城山に於いては資料が不充分であるが、有林地と無林地、広葉樹と針葉樹、林齢の相異による崩壊の多少については差が認められぬ。又赤城山では若し森林が崩壊防止には有効でなかつたとしても、森林の表土侵蝕防止の機能は重要で没却出来ぬ。

(6) 土石流には崩壊に起因する上流高地土石流と、崩壊には無關係に溪床自体が流出する下流低地土石流の2種があり、前者の速度は $4\sim 5\text{m/sec}$ 、後者の速度は $1\sim 2\text{m/sec}$ と見られる。土石流はその大きな比重による破壊力が大で、又掃流力も大である。土石流と其の後の流水で深いU字型の溝が掘られる。

(7) 森林のみにより土石流の発生を防止するのは困難であるが、森林による土石流の方向転換、土石流中の巨岩留止は或程度可能である。

(8) 此の災害による流出土砂量は流域山地面積 $1\text{km}^2$ 当り $10^4\text{m}^3$ の程度である。

(9) 赤城山には土柱が処々に見られ表土侵蝕の大きな事が判かる。

(10) 沼尾川前入沢、梨木沢しげりたち沢等では、カスリン颱風後上流崩壊地よりの流出土砂で急激に溪床が上昇し、溪床はカスリン颱風前の状態に復帰しつつあり、大雨があれば再び土石流の危険がある。

(11) 赤城山の土壌は含水量の増大による抗剪力の低下は余り問題とならず、上下両層の透水性の差による潜流によつて上層の崩壊が起り易い。又流出限界値の非常に小さな土壌もあり土石流発生の容易を示し、耐水度も小さく表土侵蝕を起し易い。

(12) 赤城山は地質、地形、土質等の天然素因が崩れ易く流出し易い処へ、天然誘因として記録破りの大雨があつて大災害が発生し、戦時以来の森林の増伐、無理な土地利用、河川保護の放擲等の人工誘因が災害を助長したと考えられる。

(13) 崩壊防止には、崩れ易い凝灰質集塊岩、山腹凹処、山腹傾斜変換点、谷頭、傾斜  $27^{\circ}$  ~  $41^{\circ}$  の場処が先ず問題となり、表土剝落型崩壊には山腹水路を設ける事、森林根系の network を中断せぬ事、種々の深さの根系を持つ森林を仕立てる事が防止法となり、地沁型崩壊には滲透水の排水、浅い沁りでは斜面下部の深根性樹種の植栽が防止法となる。

(14) 崩壊土砂流出防止には山腹水路、山腹石積等の山腹工事と数多い低堰堤の溪流工事の一貫した系統的工事が必要で、之は亦上流高地土石流の防止法ともなる。

(15) 溪の特徴をよく調査し溪床安定の為の堰堤は位置を充分考慮すべきである。

(16) 土石流に対しては安全な場処の貯砂堰堤の設置と同時に土砂生産の原因である上流流域の流出土砂を防止せねばならぬ。又障害物による土石流の方向転換、森林による土石流中の巨岩留止等の緩和策を活用すべきである。

(17) 赤城山は表土侵蝕が大であるので、簡易な工作物で早急に一時土砂の移動を防ぎ、生長の速い荒廢地に適する草生で地面を被覆する事と山腹水路の必要がある。

(18) 復旧には凍上防止工法とス、キ、イタドリ、タケニグサ、クズ、メドハギ、ヤハズソウ等を活用し立地を改善して後經濟樹種に替えるのが良策で、植栽地の保護、手入れを忘れてはならぬ。

(19) 赤城山の如く将来も亦災害発生の恐れある地は、森林造成は治山第一主義で行われるべきである。

## Ⅶ 結 言

本研究によつて赤城山或いは他の地の災害の実態が全く明かにされた訳でも無く、尙将来に幾多の問題を残している。又災害地の現地調査では多数の因子の組合わさつた結果のみが得られて各因子について分析出来ぬ場合が多いので、各因子の分析的、実験的研究が一方に必要であり、かゝる災害の現地調査の資料を数多く得て帰納する面と、分析的、実験的研究より演繹する面の両面が災害防止の研究に必要であると考えられ、本研究では後者の面が種々の都合で不十分な点が多かつた事を痛感するものである。

(1951.11)

## 参 考 文 献

- 1) カスリン颱風の研究 利根川水系に於ける災害の実相、日本學術振興会群馬県災害対策特別委員会報告 群馬県、1950.
- 2) 宇佐美衛 赤城山の地形及び地質 1), 172頁, 1950.
- 3) 坂口勝美 赤城山の崩壊と森林の取扱 1), 220頁, 1950.
- 4) 山口昇 地沁りの深さに関する一考察 土質調査委員会報告第3輯, 1934.
- 5) 安藏善之輔 地沁面の形 土木学会誌 27 卷 1 号, 1932.
- 6) C. F. S. Sharp, Landslides and related phenomena. p. 26, 1938.
- 7) 川口武雄 山地土壤侵蝕の研究 (第1報) 従来資料による統計的研究 未発表 (林業試験集報)

に発表の予定)

- 8) 川口武雄, 山本勝市 土砂打止林の伐採と流出土砂について 林業試験集報 57 号, 1948.
- 9) 県下水害と林野被害及び復旧施設 群馬県林務部
- 10) 田中八百八 森林の土砂打止 38頁, 1934.
- 11) 飯田渡事 昭和13年5月9日及び15日の磐梯山麓川上温泉附近に於ける山津浪並びに流下せる火山灰質土砂の2, 3の物理的性質 地震研究所彙報 16号—3, 1938.
- 12) 和達清夫 地球と人, 116頁, 1941.
- 13) 萩原尊礼 筑波山山津浪調査報告 地震研究所彙報 16号—4, 1938.
- 14) G. Strele. Grundriss der Wildbachverbauung, 1934.
- 15) P. Demontzey. Traité Pratique de Reboisement et du Gazonnement des Montagnes.  
Note A. Note de M. Shlumberger, Garde général des Forêts, sur la Lave descendue, le 13 Août 1876, dans le Torrent de Faucon, près Barcelonnet (Basses-Alpes).
- 16) 棚橋嘉市, 太田芳夫, 菅谷惣次 昭和13年7月5日の豪雨による神戸裏山再度谷の山崩調査報告 海と空 19 卷 4 号, 1939.
- 17) 木谷重榮 慶尚南道に於ける風水害と山崩に就て 山潮 45 号, 1937.
- 18) 昭和25年6月資源調査会土地部会土壤侵蝕小委員会にて建設省河川局砂防課より発表
- 19) 阪神大水害調査報告 災害科学研究所報告第1号, 1938.
- 20) 安芸皎一 利根川昭和22年9月洪水水害実態調査報告 1), 237頁, 1950.
- 21) 武田繁俊 昭和22年9月15日利根川洪水に於ける水源地方の雨量と流量について 1), 89頁, 1950.
- 22) 山口伊佐夫 崩壊地土壤の透水性に就て 東大林学科卒業論文, 1950.
- 23) 熊谷三郎 粘土の流出限界に関する実験的研究 東大林学科卒業論文, 1943.
- 24) 小野寺透 赤城山の崩壊に関する地質学的研究 1), 159頁, 1950.
- 25) 辻村太郎 昭和22年9月の群馬県水害調査報告 1), 107頁, 1950.
- 26) 金川治三郎, 根岸文雄 群馬県の大雨 1), 21頁, 1950.
- 27) 川口武雄 被害状況 1), 178頁, 1950.
- 28) 赤木正雄 溪流及び砂防工学 142頁, 1939.
- 29) 同上 143頁, 1939.
- 30) 猶原恭爾 禿瘠地に於ける植栽に就て 土木学会誌 24 卷 3 号, 1938.
- 31) 倉田益二郎 クズつるの新しい繁殖法 畜産研究 4 卷 3 号, 1950.



## Résumé

- (1) To gain the fundamental data for calamity prevention and its restoration, we investigated on the spot at Mt. Akagi and tested mechanical properties of soil.
- (2) At Mt. Akagi slides have two types, one is the surface denudation type and the other the landcreep type. Most of them started as head erosion.
- (3) When plant cover was lost by slide, large amounts of soil flow away by surface erosion, and this flowing soils promote the slide and erosion of stream bank, and the erosion of stream bed too.
- (4) The steeper the slope the more frequent and violent slides break out, but they can hardly be seen on the slope above  $42^\circ$ , because all slopes above  $42^\circ$  are the outcrops of lavas or other stable rocks. It seems to be no relation between slide and direction.
- (5) As to the slide at Mt. Akagi, differences are not recognized between forest and treeless lands, broad-leaved and needle-leaved forests, and all classes of forest-age. Suppose the forest has no effect to prevent the slide, the erosion control function of forest cannot be neglected.
- (6) Mudflows have two following types,
  - (i) upstream mudflow caused by hillside slide, and
  - (ii) downstream mudflow of stream bed itself not caused by hillside slide.Velocity of (i) is 4-5 m/sec and (ii) 1-2 m/sec.
- (7) It is difficult to prevent occurrence of mudflow by forest only, but it is fairly possible to turn the course of mudflow or to retain large rocks in mudflow.
- (8) Amount of the soil loss by such calamity as Kathleen typhoon is about  $10^4 \text{ m}^3$  per  $1 \text{ km}^2$  of mountain area.
- (9) We found earth pillars here and there at Mt. Akagi, and so it is clear that the surface erosion is severe.
- (10) At Maeirizawa, the branch of the River Numao, and Shigeritachizawa, the branch of the River Nashiki, the stream beds were eroded by Kathleen typhoon and rose quickly by the soil loss from upstream since after the typhoon, and they are going back to the former stage and have future fear of mudflow in the case of heavy rainfall.
- (11) Regarding to the soil of Mt. Akagi, the decrease of shearing resistance caused by the increase of moisture content is beside the question against slide, and the permeability coefficient of the upper soil layer is larger than that of the under layer, and in the case of heavy rainfall the rain water flows between the both soil layers and slide will be promoted. The small value of the flow limit and the water-stability of the soil indicates easy occurrence of mudflow and surface erosion respectively.

(12) While the natural factors of geology, topography and physical properties of the soil were apt to cause landslide and erosion at Mt. Akagi, the natural proximate cause of record-breaking heavy rainfall invited the enormous damages and moreover artificial proximate causes of over-cutting of forests, improper land use and neglect of river protection since the war accelerated the damages.

(13) To prevent landslide, tuff-agglomerate, concave hillside, point of inflexion on hillside slope, head of water, course and site of 27-41° slope must be cared.

To prevent slide of surface denudation type next treatments will be effective,

- (1) construction of outlet channels on hillside,
- (2) installation of unbroken network of roots mat, and
- (3) planting the trees having different roots in depth.

To prevent slide of landcreep type next treatments will be effective.

- (1) drainage of the infiltrating water, and
- (2) in the case of shallow slip, planting the trees having deep roots on the downward slope.

(14) To prevent the soil loss from denuded lands, outlet channels and masonries on hillsides and low dams in stream are effective, and these works must be consistently and systematically treated. Above-mentioned works are also effective against upstream mudflow.

(15) The character of stream should be precisely investigated, and the site of dam for consolidation should be satisfactorily considered.

(16) Against mudflow, we must not only construct soil-saving dam at the safe site, but also prevent the soil loss from upstream. Moreover it is wise to turn the course of mudflow by obstructions and to retain large rocks in mudflow by forests.

(17) As the surface erosion is severe on Mt. Akagi, following items are needed,

- (1) prevention of the soil movement for a time by simple works,
- (2) covering the land with rapid-growing grasses suitable to denuded lands, and
- (3) construction of outlet channels on hillsides.

(18) As to restoration works, works against soil freezing, utilization of such grasses as Susuki (*Miscanthus sinensis*), Itadori (*Polygonum Reynoutria*), Takenigusa (*Macleya cordata*), Kudzu (*Pueraria triloba*), Medohagi (*Lespedeza cuneata*), Yahazuso (*Microlespedeza striata*), etc. and gradual change to the economic forests after improvement of sites by the former grasses are desirable, and protection and tending of the plantation must not be neglected.

(19) At such plot having future fear of calamity as Mt. Akagi, afforestation for the purpose of erosion control only should be done.



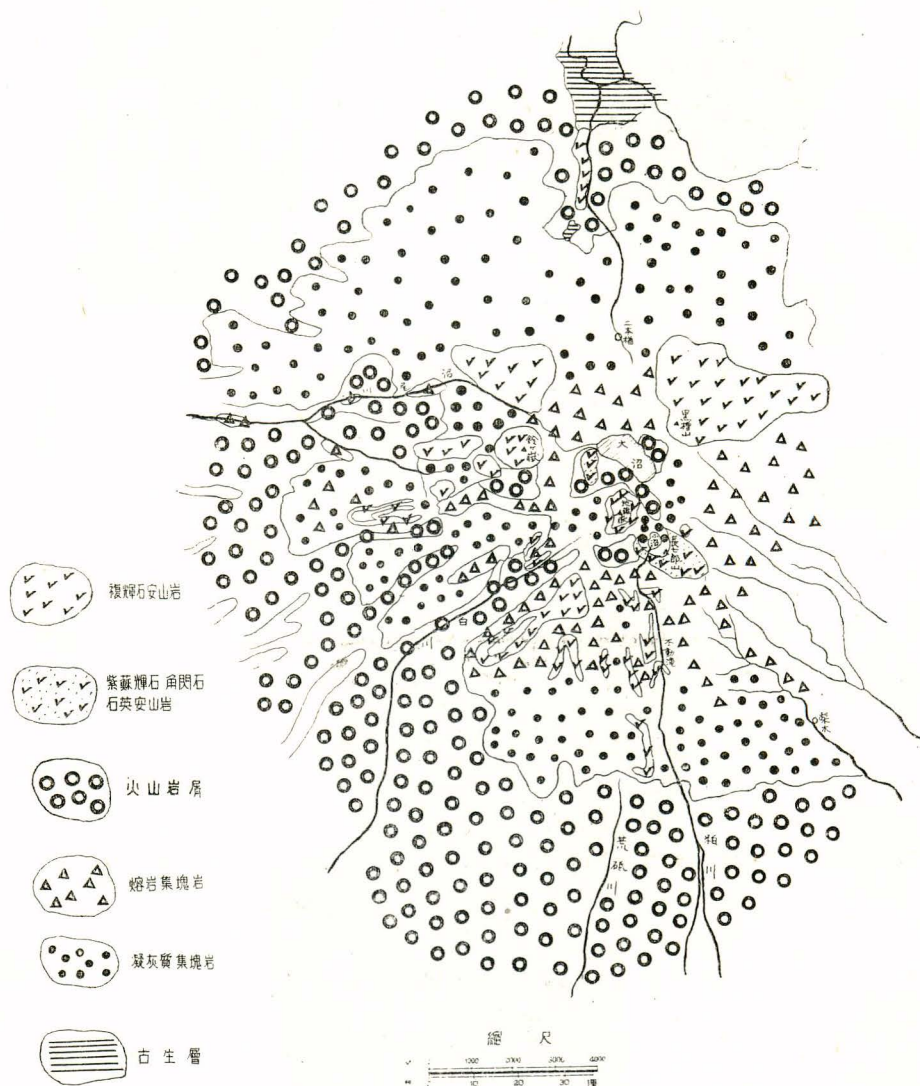


（一）地形解折区域  
〇 調查地  
〇 國有林  
〇 崩壞地位置

附圖 I

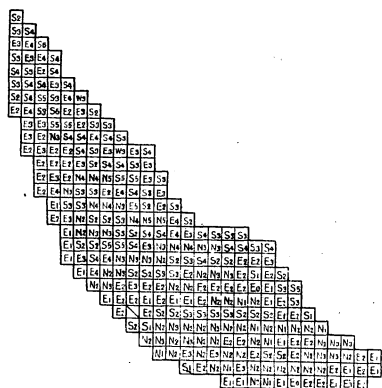
附 図 2

赤 城 山 地 質 圖

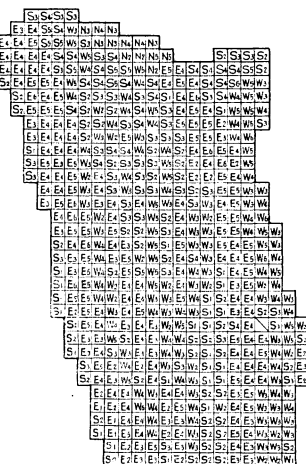




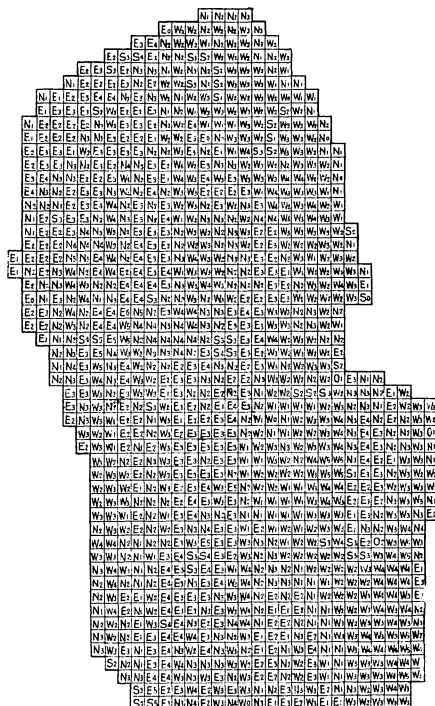
附図3の1 梨木地区



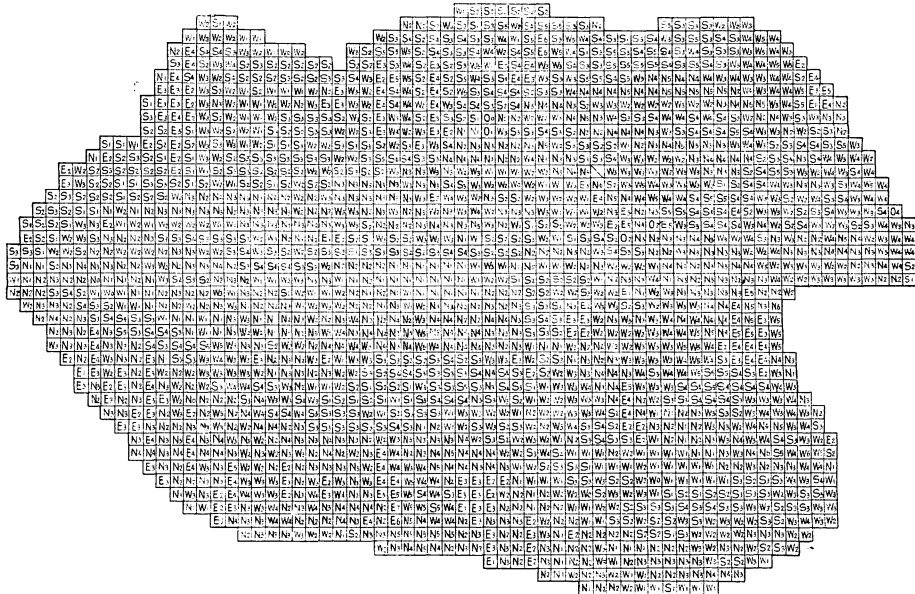
附図3の2 粕川地区



附図3の3 大洞二本橋地区



附図3の4 敷島地区



赤城山山崩に関する研究 (川口・渡辺・滝口)



写真 1. 崩壊地遠望

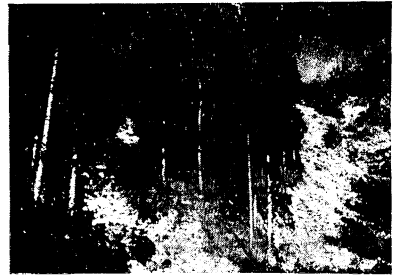


写真 4. 上部灌木地の崩壊に下部スギが良く堪えた例

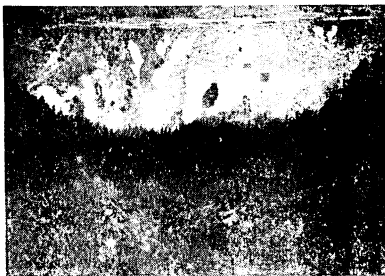


写真 2. 表土剥落型崩壊

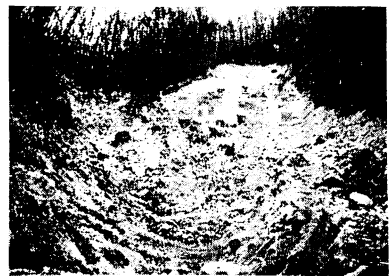


写真 5. 谷頭に於る地辻型崩壊



写真 3. 崩壊による倒木

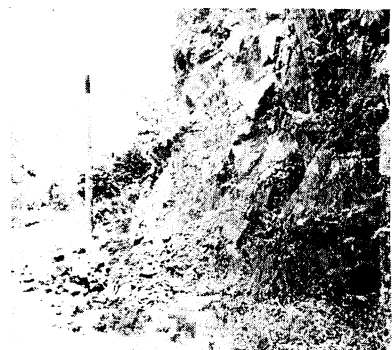


写真 6. 古生層硬砂岩地帯の落岩



写真 7. 前入沢溪床に埋れたトチの大木が土石流通過後現れた



写真 10. 土柱



写真 8. 同上，崩壊地よりの流出土砂により僅か6ヶ月の間に再び埋没されかゝっている



写真 11. 土石流通過により深さ約6m洗掘された側壁



写真 9. 同上，更に4ヶ月を経て殆ど没するに至る



写真 12. 同上





写真 13. 深山, 前入沢, 後入沢  
合流点

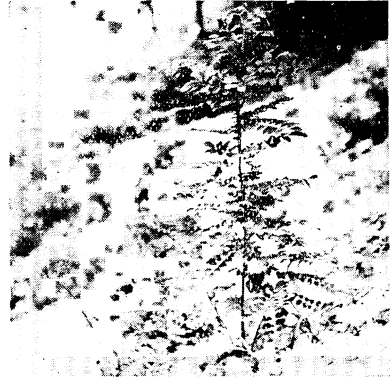


写真 16. 崩壊地に自生する  
ニセアカシヤ



写真 14. 同上合流点下流に施工  
された堰堤

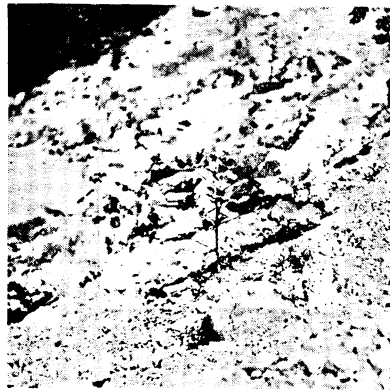


写真 17. 崩壊地に自生する  
タケニグサ

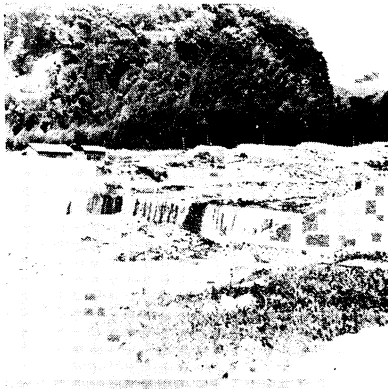


写真 15. 同上



写真 18. 崩壊地に自生するタケニグ  
サ (高さ 2m), イタドリ等

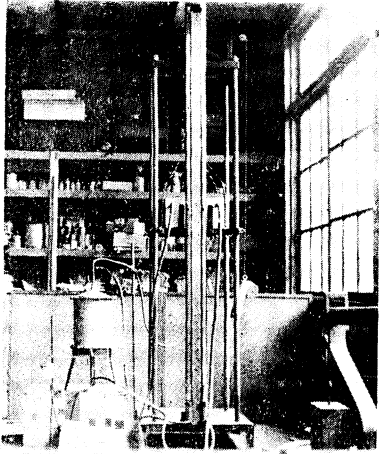


写真 19. 定水位土壤透水試験機

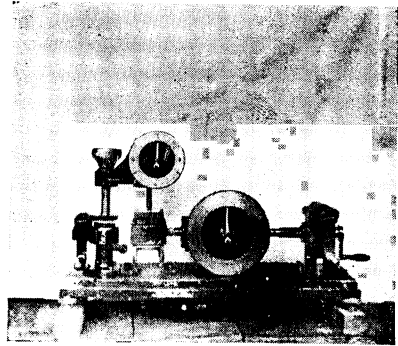


写真 21. 携帯用土壌剪断試験機

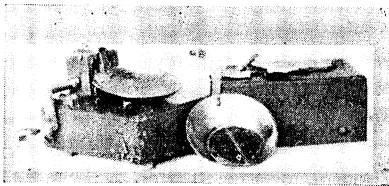


写真 20. 流出限界測定器



写真 22. 耐水度測定装置