

# 山腹崩壊の前兆と異常年輪

東 三 郎\*

Abnormal annual rings as a presage of landslides

By Saburo HIGASHI\*

## ま え が き

山腹崩壊の機構に関する素因的研究、すなわち、地質・地形・土質力学的研究は多いが、崩壊に達する経過を時間的に分析したものは少ない。これは崩壊の位置・時・規模を予知することがむずかしく、適当な測定方法がみあたらないからである。たとえば、現在用いられている地すべり移動計は、大移動後の局地的な余波を記録するうえに有効であるが、広い区域にわたって、長期間、事前の徴候をとらえることはできない。その目的を達するためには、長期記録装置を備えた大型器械を数多く動員しなければならないことになる。大きな被災対象のある地域の山腹だけに限っても、その面積は相当に広く、とうてい満足な数量の器械を配置することはできないだろう。

しかし、山地災害をなるべく少なくするためには、危険地帯の認識を高める必要があり、そのためには、山地の個性、地表変動の履歴に対して、まず、定性的な検討が加えられなければならない。筆者は、そのひとつの試みとして、植物指標による「時間」の導入について研究しつつある<sup>7)</sup>。この方法の基本的な立場はつぎのとおりである。すなわち、長い年月の間に、地質条件は地形に具現され、地表の変化は植物群に表現されているという考え方にたつて、とくに、木本植物の年輪構成にみいだされる年単位の「時間情報」を解析し、地表変動の時間的関係を求めようとするものである。この考え方は、森林の崩壊防止機能をうまわった表土層の動きをすなおに認め、ある狭い区域においては、植物に影響する環境因子のなかで、地文因子 (Physiographic factors) が他の気象因子 (Climatic factors)、土性因子 (Edaphic factors)、生物因子 (Biotic factors) よりも重要であることを強調するものである。

本論文にとりあげた試料は、地表変動と植物指標の関係を研究しはじめた 1964 年に採取したものである。当時は解析法も未熟であったために、十分に検討することができなかった。その後、確かな記録をもつ北海道内の地すべり地や、天然林内の地すべり地において、地表変動と樹木年輪の関係を明らかにすることができたので、ひとつの年代的解析法を組み立て、その方法によって、あらためて当初の試料に考察を加え、崩壊機構の解明に役立てようとした。

本論文の試料は、再三にわたり、苫小牧林務署に提供してもらった。前署長大谷克己氏、署長小池正氏、前土木課長中易与一郎氏、同横堀信一郎氏、土木課長田熊武司氏、前造林課長山口五男氏、治山係長小関宇太氏、

\* 北海道大学農学部砂防工学研究室 Institute of Erosion Control, Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo, Japan.

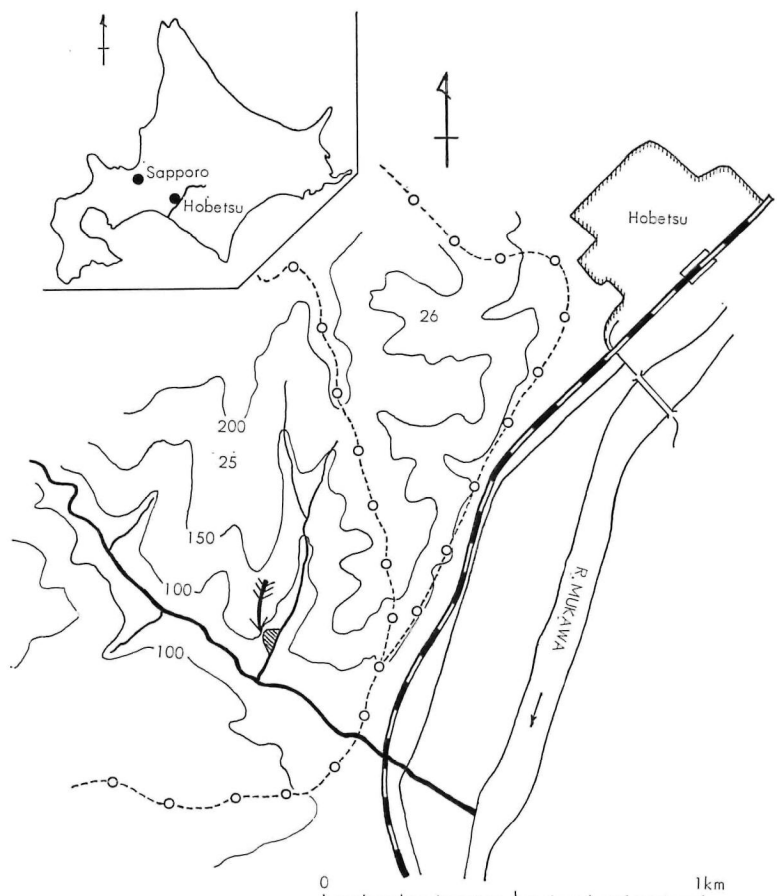
技師小野寺宗昭氏，本間富夫氏，高橋建蔵氏，前徳別駐在所主任吉田暉義氏，主任谷口定雄氏，河崎道也氏，笹木産業古川誠氏に対し感謝の意を表す。また，アテの鑑定には，故矢沢亀吉博士，北海道大学農学部木材理学研究室石田茂雄教授，同木材加工学研究室宮島寛助教授の手をわずらわした。さらに，本研究に関して，かねがね貴重な助言を賜わっている北海道大学農学部砂防工学研究室村井延雄教授，同若林隆三教官，同新谷融教官，同演習林藤原滉一郎教官，同工藤哲也教官と，卒業論文のテーマとして共に考究してきた葛西公尚君（1965），山上忠君（1966），吉田健君（1967）の諸氏に対し，本研究の発展しつつある現況を報告しお礼としたい。

なお，本論文は，北海道立林業試験場創立 10 周年記念論文集に掲載される幸運にめぐまれたものである。一言付記して関係各位に謝意をのべる。

## 研究 方 法

### 試料採取方法

1964年6月4日，前日来の集中豪雨（降雨量108mm）の際に，苫小牧林務署管内鶴川事業区25林班（通称チチャップ沢）のカラマツ造林地（1948年植栽）に，間口36m，奥行き36mの山腹崩壊が起こり，カラマツ72本



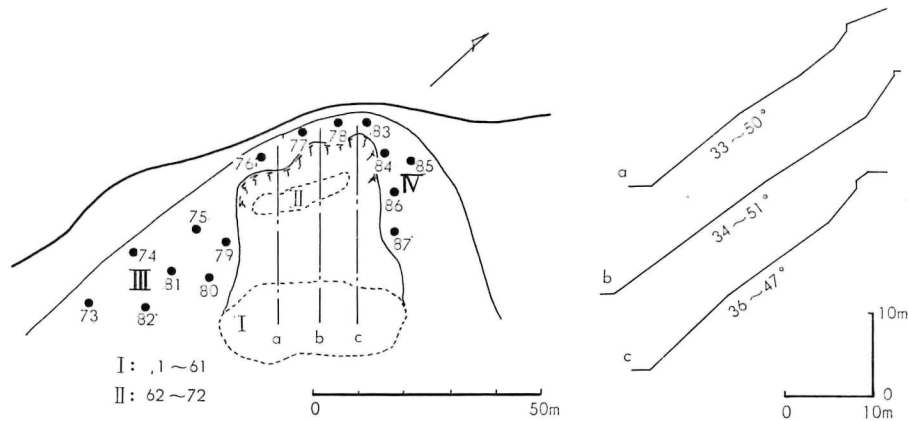
第1図 調査地位置図（矢印）  
破線は林班界を示す

(樹高8~10 m) が倒伏した。当地は第1図に示すように、鶴川中流部の穂別町市街より南西方1.5 kmの地点で、新第三系、中新世、川端層に属し、泥岩と砂岩の互層する褶曲のいちじるしい低山地帯である。

北海道の皆伐造林地では、最近小面積の崩壊地が多くなっているが、この崩壊もそのひとつで、典型的な表層はく落型である。崩落土層の厚さは0.3~1.0 m程度、崩壊地の両側は基岩(泥岩)の露出斜面となり、中央上部に陥没状の崩壊部があり、一部地すべり性の崩壊も複合されている。なお、崩落崖の一部には厚さ1 mの火山灰の堆積層がみられたが、隣接部未崩壊斜面上の火山灰層はすでに流亡し、現存していなかった。

第2図の試料採取位置図に示すように、この崩壊は、南東斜面の尾根に近いところから発生している。原斜面の傾斜は $37\sim 43^\circ$ 、崩壊斜面の傾斜は $33\sim 51^\circ$ であった。崩壊直後の溪床には、崩落したカラマツが折り重なっており、崩壊斜面の上方部に根返り木があった。

試料はこの倒伏木の根曲り部分(地上高30~50 cm)から、1964年6月11日に採取したのであるが、結果的に、溪床上のIグループ61本(No. 1~61)と斜面上のIIグループ11本(No. 62~72)の72本から得たことになった。試料解析の関係で、その後に隣接未崩壊部の立木からも追加採取した。それは1965年10月7日のIIIグループ10本(No. 73~82)と、1967年6月23日のIVグループ5本(No. 83~87)である。なお、No. 85~87の3本については、地上高0.5~4.5 mの間で、1 mおきに試料をとり、軸方向の異常材形成について調べた。



第2図 崩壊地と試料採取位置

太線: 尾根      I~IV: 試料グループ  
細線: 古いぎれつ      1~87: 試料採取位置

### 樹幹のアテ

考古学には、樹木年輪による年代決定法がある。これは、年輪幅の相対的広狭と樹木をとりまく環境諸因子の総和との関係から、異常気象(おもに気温・降水量の異常)の起こった年代を探し、供試材の年代を推定する方法である<sup>1),12)</sup>。樹木の生長に及ぼす環境因子には、気象因子のほか、地文因子・土性因子・生物相互間の影響が考えられている<sup>24)</sup>。なかでも気象因子では、強風・なだれが、地文因子では山崩れや地すべりが、突発的な外力として樹木に作用し、生長を妨げることがある。極端な場合には、樹木は倒伏し枯死するが、傾斜木は屈地性屈曲により直立位に立ち直ろうとして異常材を形成し、樹幹は変異する<sup>19)</sup>。地すべり地では、多くの研究者<sup>17),22),23)</sup>によって、樹木の傾斜する状態が認められ、HEIM<sup>2)</sup>は、樹幹の屈曲状態と、地すべりのくりかえしの関係についてのべている。

傾斜した樹幹の横断面には、異常材が形成される。樹木生理学、木材理学では、この異常材をアテと称し、19世紀末から研究している<sup>13)</sup>。アテは種々の点で正常材と異なる性質を有し、針葉樹のアテ (Compression wood) は、傾斜木の下側断面に赤褐色の扇形としてあらわれ、肉眼で識別しやすい。多くの広葉樹のアテ (Tension wood) は広葉樹の上側断面に形成されるといわれ、肉眼で識別しにくい。

枝にもアテは形成されるが、枝の場合には、斜向屈地性の生理的作用があり、樹幹の屈地性屈曲と異なっている<sup>19)</sup>。枝の問題は、本論文の圏外にあるので、ここでは触れないことにする。

要するに、アテは傾斜木にあらわれるのであるから、アテ形成にあずかる直接原因は樹幹の傾斜であり、樹幹を傾斜させる外力は、アテ形成の間接的原因ということになる。いま樹幹を傾斜させる影響についてみると、おおよそつぎのようなものがあげられる。

1. 風の作用： 常風，台風
2. 雪の作用： 冠雪，クリープ，なだれ
3. 土地条件： 急斜地，山崩れ，地すべり
4. 生理的条件： 隣接木との競争，屈光性
5. 人為的作用： 森林作業，土木工事
6. 諸種の害： 主軸の損傷 (虫害，気象害)

これらのなかで、大径木を傾斜させるような外力としては、台風、なだれ、山崩れ、地すべり、森林作業、土木工事のようなものがあり、台風は広い範囲の樹木に、地表変動は局所的な樹木に、人為作用は個々の樹木に影響を及ぼしている。

これまで、常風によるアテの形成に関する研究は多いが<sup>14)</sup>、強大な外力によるアテの形成について検討されたものは少なく、とくに地表変動の影響について詳しく論じられたものはみあたらない。

尾中<sup>19)</sup>が樹幹の横断面にあらわれるアテの形成状態について区別したもののから、樹幹の基部にあらわれるものについて要約するとつぎのようになる。

1. 内部の年輪にアテのある場合——樹幹の細い時代に傾斜し、現在は直立位に復しているもの。
2. 外部の年輪にアテのある場合——樹幹が太くなってから傾斜し、現在も直立位に復していない場合には、最外層の年輪にもアテがある。
3. 中部の年輪にアテのある場合——生長のある時代に樹幹が傾斜し、断続しているものは、数回直立位に復した経歴を示すものである。
4. アテの形成方向が一方的な場合——アテが断続していても、樹幹の傾斜方向が変わらなかったことを示している。
5. アテの形成方向が変化している場合——樹幹の傾斜方向がしたいに変わったり、急変したことを示している。

#### アテの年代的解析法

樹幹横断面において、アテが一側より他の側へ急変している問題について、尾中は、暴風によるてん倒と地すべり地の地盤変化の際にあらわれるとしているが、実例としてあげられたものはない。PILLOW と LUXFORD<sup>20)</sup>は、5年後にアテの形成方向が 180° も急変している spruce の実例をあげ、その原因については不明であるとのべている。尾中および PILLOW らの論文から推察されることは、これまでのアテの研究には、樹幹傾斜の原因として風の影響が大部分を占め、地表変動にはほとんど関心が向けられていなかったことである。



## 試料の解析結果

アテの基本型にしたがって形成年代を調べ、形成強度、形成方向を加えて解析した結果は、第1表のようにまとめられる。

第1表 年輪解析表

No.	年輪始読	アテの形成年代	型	強 度	方 向	備 考
1	1949	1959-60-62 54-55 53	B Bs As	S P P	4.5 4.5 4.5	1955年に傷跡
2	1949	62 55	As As	M P	4.5 1.5	1955年年輪幅狭小、くされ
3	1948	1961-62-63 55	B As	S P	4.5 1.5	
4	1948	1959-62-63 55-57	B A	M P	10.5 10.5	年輪の乱れ
5	1948	55	As	P	1.5	1962, 63年の年輪幅狭小
6	1948	55	As	P	1.5	
7	1949	1958-60-62 55-56	B A	M P	4.5 5.5	
8	1949	1960-61-63 55-58	B A	P P	4.5 4.5	いちじるしく偏心、裾変
9	1951	55	As	P	0.5	春材側にアテ
10	1948	62-63 55	A As	P P	4.5 5.5	
11	1952	60 55	As As	P P	4.5 5.5	
12	1952	1959-60-63 55	B As	P M	4.5 4.5	1955年の春材側にアテ
13	1949	1960-61-63 58-59 54-55-57	B Bs A	P P P	4.5 3.5 4.5	
14	1950	1961-62-63 59-60 55-56	B Bs A	M S P	4.5 4.5 5.5	
15	1948	1961-62-63 58-60 54-55-56	B Bs B	P P P	4.5 4.5 5.5	
16	1952	60-61 55	A As	P M	4.5 4.5	
17	1949	62 60 55	As As As	P P P	4.5 2.5 0.5	
18	1950	55	As	P	4.5	春材側にアテ
19	1950	1958-60 55	Bs As	P P	4.5 4.5	春材側にアテ

第1表つづき (2)

No.	年輪始読	アテの形成年代	型	強 度	方 向	備 考
20	1950	1960-62-63 55-57	B A	P P	4.5 4.5	
21	1948	62 60 55	As As As	M P P	4.5 4.5 5.5	
22	1949	1960-62-63 55-56	B A	P P	4.5 4.5	
23	1948	1960-62-63 55	B As	P P	4.5 4.5	1955年にくされ
24	1949	1960-62-63 55-56	B A	M P	4.5 4.5	
25	1949	62 1960-61 55	As Bs As	P P P	4.5 3.5 4.5	1955年の年輪幅狭小
26	1948	55-56	A	P	4.5	
27	1949	1961-62-63 54-55-56	B B	P P	4.5 5.5	
28	1950	1961-62-63 58-60 53-55	B Bs Bs	P P P	4.5 4.5 5.5	
29	1948	1961-62-63 54-55-57	B B	P P	4.5 6.5	
30	1949	1961-62-63 59-60 55-56	B Bs A	P M P	4.5 6.5 5.5	
31	1951	62-63 1957-58 55	A Bs As	M S S	4.5 5.5 6.5	
32	1955	62	As	P	6.5	
33	1951	1961-62 54-55	Bs Bs	P P	4.5 10.5	
34	1950	62-63 60-61 55	A A As	P P P	5.5 5.5 6.5	
35	1949	62-63 60 55 53	A As As As	M P M M	5.5 5.5 5.5 5.5	
36	1950	1960-62 55	Bs As	M P	4.5 4.5	
37	1950	62-63 55	A As	P P	5.5 5.5	
38	1949	1958-59 55-56	Bs A	S P	4.5 4.5	
39	1949	1958-59 55	Bs As	S M	4.5 4.5	1955年にくされ

第1表つづき (3)

No.	年輪始読	アテの形成年代	型	強 度	方 向	備 考
40	1948	55-56	A	P	4.5	
41	1949	—	—	—	—	1955年の年輪乱れ
42	1949	62-63 55	A As	P M	1.5 2.5	
43	1951	62 1954-55	As Bs	P P	4.5 1.5	
44	1950	1962-63 59 55	Bs As As	P P P	4.5 3.5 4.5	
45	1949	1960-62-63 55	B As	P P	4.5 5.5	
46	1952	62 60 55	As As As	P P P	4.5 2.5 1.5	
47	1955	62-63 60	A As	P P	4.5 4.5	
48	1949	62-63 60 55	A As As	P P P	4.5 4.5 4.5	
49	1948	62-63 55	A As	M P	3.5 2.5	
50	1949	62-63 1957-61 55	A Bs As	S S P	5.5 5.5 1.5	
51	1954	62 1959-60	As Bs	M P	4.5 4.5	
52	1949	62-63 1959-60-61 55	A B As	P P P	4.5 4.5 3.5	
53	1954	62-63 60	A As	P P	4.5 4.5	
54	1951	62-63 60 58 55	A As As As	P P S P	4.5 11.5 10.5 0.5	
55	1950	62-63 60 55	A As As	P M P	4.5 3.5 2.5	
56	1949	62-63 60-61 55	A A As	P P P	4.5 4.5 5.5	
57	1949	1960-62-63 54-55	B Bs	M P	4.5 4.5	
58	1948	55	As	P	4.5	
59	1948	55	As	P	4.5	1960年に傷跡

第1表つづき (4)

No.	年輪始読	アテの形成年代	型	強 度	方 向	備 考
60	1948	—	—	—	—	1955年の年輪幅狭小
61	1948	—	—	—	—	1955, 62年の年輪幅狭小
62	1948	—	—	—	—	1955, 57年の年輪幅狭小
63	1949	1961-62-63	B	M	4.5	
64	1948	—	—	—	—	1953, 54年にくされ
65	1948	—	—	—	—	
66	1949	1960-62-63 55-56	B A	M M	3.5 3.5	
67	1949	—	—	—	—	1955年の年輪幅狭小
68	1949	—	—	—	—	1955年の年輪幅狭小
69	1949	62-63	A	P	6.5	
70	1948	55	As	M	4.5	1952年に傷跡
71	1949	1958-62-63 55	B As	M S	7.5 8.5	
72	1949	—	—	—	—	1962, 63年の年輪幅狭小
73	1949	55-56	A	P	8	
74	1950	62-65 1960-61	A Bs	P M	9 8	
75	1949	55	As	S	9	
76	1950	1961-62-63	B	S	9	
77	1950	1960-62-63 55	B As	P P	10 9	1955年の年輪幅狭小
78	1949	55	As	M	10	
79	1949	—	—	—	—	
80	1948	—	—	—	—	
81	1950	62 55	As As	P M	2 2	
82	1951	62-63 60 55	A As As	P P P	12 12 11	
83	1948	—	—	—	—	1954年の年輪幅大
84	1949	55	As	P	5	
85	1949	55	As	P	2	
86	1950	1962-66 57-58-61 55-56	Bs B A	P P P	3 3 3	
87	1950	1963-66 61-62 60 57-58-59 55-56	Bs Bs As B A	P P P P P	2 3 3 3 4	

形成強度は相対的にみて、扇形の弧長の大きいものを P (強)、小さいものを S (弱) とし、その中間を M (中) としてあらわした。いずれも樹幹傾斜の度合に関係しているが、外力の大きさと樹幹傾斜の度合との間に比例関係はみられないから、アテの形成強度から外力の規模を推定することはできない。

形成方向は時計の文字盤になぞらえて、磁北 (N 方向) を 12 時とし、ほぼ 12 方向にわけ、髓からアテの扇形中央部に達する方向を時刻で示した。試料 No. 1~No. 72 はすでに倒伏していた樹幹から採取したものであるから、倒伏前の方向を知ることはできなかつた。したがって、個々の試料ごとに、アテの形成方向に変化があったかどうかという点を見るために、最近のアテの形成方向、あるいは最近の偏心方向を斜面の谷側にとった。この崩壊地は南東に面していることから、谷側を 4 時 30 分 (4.5 時) 方向とした。

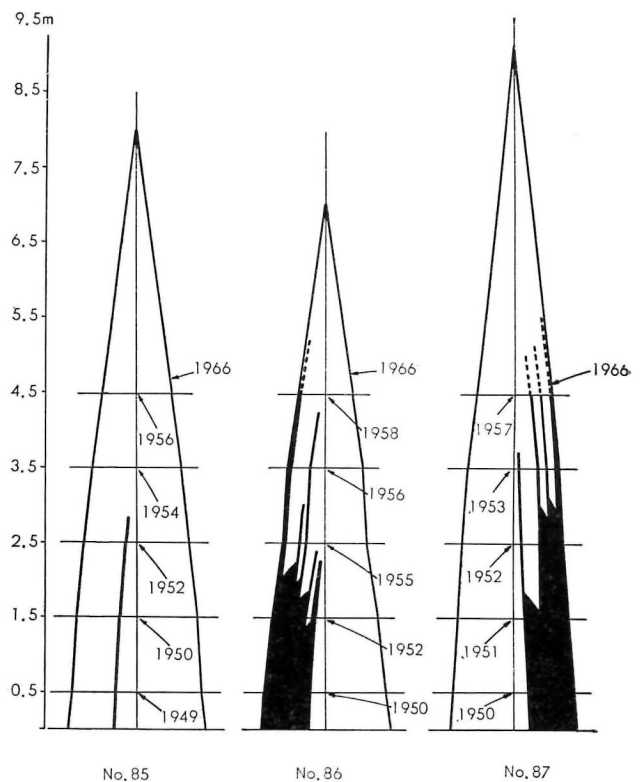
年代は西暦年号であらわした。No. 1 を例にとると、それぞれの 1 群のアテは、1960 年をピークとする弱度 (S) の B 型と同方向の強度 (P) の Bs 型、As 型をあらわしていることになる。

第 1 表から外力の作用年代に当たる部分をまとめると、第 2 表のように●印で示される。矢印は判読可能な年輪の始まりの年代を示すものである。この表によるとアテの形成頻度が最も高かった年代は 1955 年で、全数の 80.7% を占めている (1954 年現在、アテの形成にあずからない程度の小径木 4 本が含まれているので、これを除き全試料数 83 本として計算した)。1962 年の 57.5%、1960 年の 48.3% がこれについている。また、逆に全くアテの形成されていない年代は 1956 年で、1963 年の 3.4%、1953 年の 3.6%、1957 年の 4.8% がこれについている。そして、頻度の高い年代のあとに、極端に頻度の低い年代がつづき、波状型の増減をくりかえしている点が注目される。

第 2 表には、アテ形成頻度の最も高かった 1955 年の前年 (1954 年) の平均直径と伐採時の平均直径をつけ加えておいた。

第 1 表から、アテの基本型ごとに集計すると、総数 159 個のうち、A 型 37 個 (23.2%)、As 型 68 個 (42.8%)、B 型 30 個 (18.9%)、Bs 型 24 個 (15.1%) で、突発的に樹幹が傾斜して形成される A 型、As 型が 2/3 を占め、漸増型の B 型、Bs 型は 1/3 である。

また、第 2 表から、外力の持続年数を調べてみると、総数 149 個のうち、1 年が最も多くて 100 個 (67.1%)、ついで 2 年 25 個 (16.8%)、3 年 15 個 (10.0%)、4 年 5 個 (3.4%)、5 年 3 個 (2.0%)、6 年 1 個 (0.7%) となっている。持続年数 2 年以上のものには、連続している複合型を 1 個として算定したのも含まれているために、アテの基本型の総数より 10 個少なくなっている。



第 4 図 樹幹のアテ

No. 85: 山側に傾斜 No. 87: 谷側に傾斜  
No. 86: 横方向に傾斜

第2表 外力の作用年代

No.	年														平均直径 (mm)			
	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1954	1963
1		→				●	●	●				●	●				30	98
2		→						●							●		51	136
3	→							●						●	●		58	114
4	→							●				●	●	●	●		60	145
5	→							●									58	110
6	→							●									37	114
7	→							●			●	●	●				35	83
8	→							●					●	●			36	106
9				→				●									21	79
10	→							●							●		32	99
11					→			●					●				27	82
12					→			●				●	●				18	77
13		→					●	●			●	●	●	●			18	57
14		→						●				●	●	●	●		39	98
15	→						●	●			●	●	●	●	●		32	69
16					→			●					●				16	69
17		→						●					●		●		26	70
18			→					●									26	99
19			→					●			●	●	●				25	81
20			→					●				●	●	●	●		46	102
21	→							●				●	●	●	●		60	145
22		→						●				●	●	●	●		48	110
23	→							●				●	●	●	●		45	85
24		→						●				●	●	●	●		43	85
25		→						●				●	●	●	●		30	58
26	→							●					●	●	●		39	61
27		→					●	●					●	●	●		28	52
28			→			●	●	●			●	●	●	●	●		22	62
29	→					●	●	●			●	●	●	●	●		33	67
30		→					●	●			●	●	●	●	●		29	59
31					→			●		●			●	●	●		13	55
32					→			→							●		—	61
33					→		●	●						●	●		18	61
34		→						●				●	●	●	●		34	75
35	→					●		●				●	●	●	●		39	91
36		→						●				●	●	●	●		36	91
37		→						●				●	●	●	●		33	101
38		→						●			●	●					43	132
39		→						●			●	●					48	150
40	→							●									60	143
41		→						●									46	112
42		→						●							●		35	68
43				→			●	●						●	●		26	86
44		→						●			●			●	●	●	43	87
45	→							●				●	●	●		●	34	84

