



Title	6. 支笏溶結凝灰岩の硬度について
Author(s)	高橋, 文明; TAKAHASHI, Fumiaki
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 24, 73-79
Issue Date	1970-09-18
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.24.73">https://doi.org/10.14943/gbhu.24.73</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/13982">https://hdl.handle.net/2115/13982</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	24_p73-79.pdf



## 6. 支笏溶結凝灰岩の硬度について

高橋文明

(北海道大学理学部地球物理学教室)

—昭和45年4月受理—

### 1. はじめに

第3紀末紀から第4紀洪積世にかけての火山の噴火には、大規模な軽石流の噴出を伴うもの多かったことが多くの例から知られている。噴出した軽石流はほとんどが流紋岩質、石英安山岩質、安山岩質であり、堆積層の中でしばしば溶結と呼ばれる現象を起している。溶結した軽石流の堆積物は溶結凝灰岩と呼ばれるが、この名称は1935年に MANSFIELD and Ross<sup>1)</sup> によって始めて用いられた。溶結凝灰岩は主に大小のやや扁平に変形した軽石片と、その間をうめる非常に細かいガラス質からなっており、互いに密に密着し、過去に溶岩と間違われることがあったくらいである。そして単一の堆積層では、その深さの中程で、最も溶結の進んでいることが多く、ガラスに二次的結晶のできていることがある。この様な溶結凝灰岩の産状から、軽石流の堆積層の中では、その噴出時の温度がかなり長時間保たれ、さらに堆積による圧力も加わったのだらうと考えられている<sup>2)</sup>。今までにも実験室で軽石の粉末から溶結凝灰岩を作る試みがされ、その議論の中で、試料の溶結の程度が示されている。溶結の程度は肉眼や鉱物顕微鏡による所見が定性的に記述され、そして見かけの比重や空隙率が定量的に記述されている。ところで一般に、溶結凝灰岩の生成機構は、セラミックスや合金の製造に應用される焼結現象による説明が試みられており、焼結現象については、既に FRENKEL<sup>3)</sup>, MACKENZIE and SHUTTLEWORTH<sup>4)</sup> 等によって簡単なモデルで議論されている。すなわち、一定の高温、高圧下では徐々に粒子間の空隙がうめられていき、粒子が互いに凝着すると考えられる。この凝着の原因としては、例えば久保・神力<sup>5)</sup> によれば、1) 接触粒子表面にある原子、又はイオンの相互作用、2) 接触部分における新しい結合の生成、3) 接触部分近傍での原子、又はイオンの移動、4) 接触部分への物質の移動、というような4つの過程が挙げられている。したがって、溶結凝灰岩の生成機構を焼結現象で説明するならば、溶結凝灰岩は軽石片、細かいガラス質の単なる

1) G. R. MANSFIELD and C. S. ROSS; Welded Rhyolitic Tuffs in Southeastern Idaho, Amer. Geophys. Union Trans., Nat. Research Council, Aug. (1935), 308-321.

2) 例えば、C. M. GILBERT; Welded Tuff in Eastern California, Bull. Geol. Soc. Amer., **49** (1939), 1829-1862.

3) J. FRENKEL; Viscous Flow of Crystalline Bodies under Action of Surface Tension, Jour. Phys. (U.S.S.R.), **9** (1945), 385.

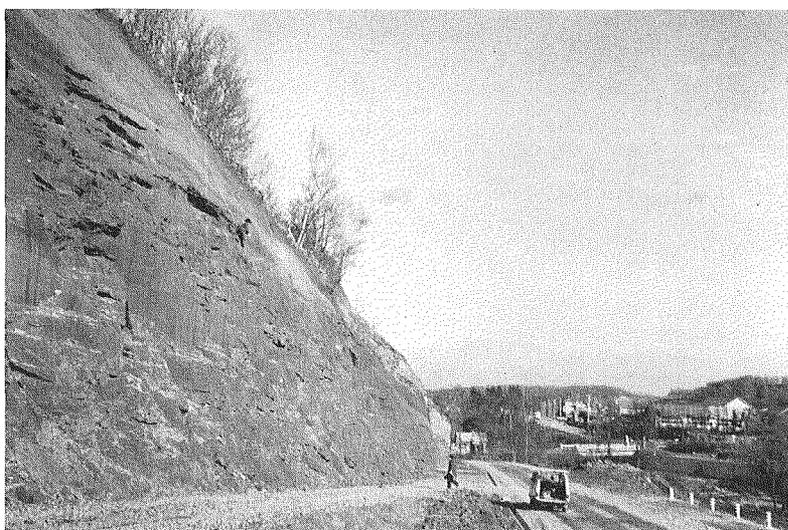
4) J. K. MACKENZIE and R. SHUTTLEWORTH; A Phenomenological Theory of Sintering, Proc. Phys. Soc. (London), **62**, 12-B (1949), 833-852.

5) 例えば、久保輝一郎・神力喜一; 粉体—理論と応用, 丸善 (1962), 389-411.

集合ではなく、凝着によるものと考えられ、溶結の進み具合を定量的に示そうとするとき、この凝着という意味をよく反映する量で示すのが望ましい。従来、空隙率の変化を測定することによって溶結の進み具合を調べているが、空隙率は溶結の進行を示す一要素ではあっても、これだけで示すのは不十分である。すなわち、空隙率は溶縮した物質に独得の量ではないからである。そこで、この溶結の程度を調べるにあたり、できるだけ溶結という意味を反映し、しかも扱いの簡便な測定法として、ショアー式反撥硬度計を用いた。この場合の硬度ショアー硬度はこのショアー硬度計において一義的に定義される量であって、物理的には明確に定義されていない。ショアー硬度は、一定の高さから先端にダイヤモンドの付いた針状のハンマーを試料に落とし、それが試料に衝突して跳び上がる高さをもって示される。この高さの相違は、ハンマーの持つポテンシアル、エネルギーが衝突によって損失する量の大小によって現われる。もし、試料面付近の粒子間がガラス質で密に凝着されている（すなわち溶結している）ならば、ハンマーによる試料面の極く限られた部分での塑性変形が妨げられ、そのエネルギーの損失は少ない筈であり、結果として硬度が大きく測定されるであろう。そこでこのショアー硬度計を用いることにより、支笏軽石流堆積物の単一堆積層中における溶結凝灰岩の深さによる硬度の変化を調べた。さらに、この試料を様々な温度、時間で加熱した後、硬度がどのように変化するかを調べ、堆積時の温度がどの程度であったか推定しようと試みた。

## 2. ショアー硬度の測定

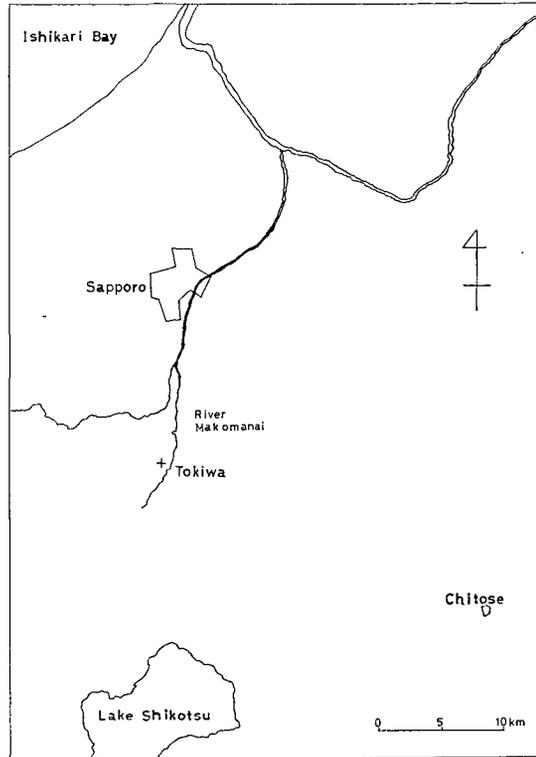
測定に用いる試料として、札幌市南方の常盤に露頭する支笏溶結凝灰岩を用いた。この地点は、支笏カルデラの噴出中心から約 18 km 離れている。付近を流れる真駒内川の河床から推



第1図 試料の採集地の写真

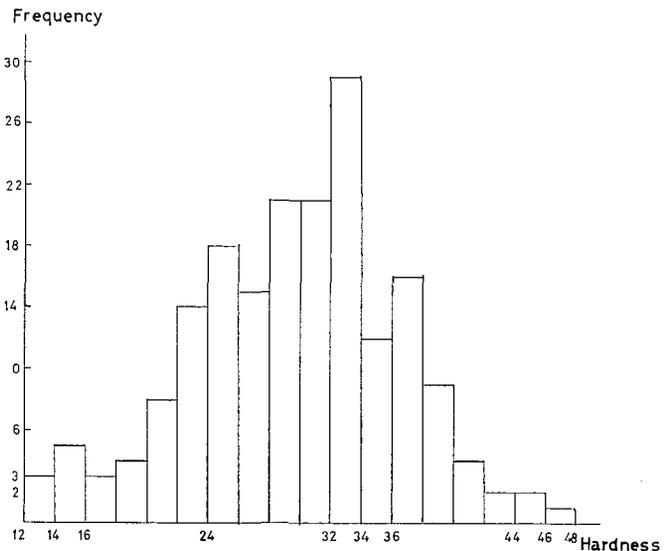
Fig. 1. Photo of sampling site.

定して約 25 m 程堆積していると考えられるこの溶結凝灰岩の崖で、上面から下方垂直 7 m ~ 21 m の岩石を 1 m 毎に採集し、この試料に No. 7 ~ No. 21 の呼称を付けた。なお、異方性の存在を考慮し、試料は溶結凝灰岩の産状における水平面が必ず出るように成形され、硬度の決定にはこの面を用いた。ところで、ショアー硬度計で硬度を測った場合その値には大きなばらつきがある。本来、ショアー硬度計は金属材料のように、ほぼ均質な物質の硬度を調べるものであり、これを岩石に応用すれば、岩石マトリックスの不均一さから大きなばらつきが出るのはやむを得ない。特に、溶結凝灰岩のように大きな軽石片や異質岩片のまじったものではばらつきが大きい。しかし、測定回数を増すことによって第 3 図のように平均的なショアー硬度の値を決めることが出来る。但し、以下の測定においては、測定回数を減らしても十分にショアー硬度が決められるように、上記のような軽石片、異質岩片の部分を意識的に避け、試料の大勢を占める細かく砕けたガラス片からなる部分を測定の対象とした。No. 7 ~ No. 21 の試料のショアー硬度を測定しグラフにし、みかけの比重の測定値をも付け加えておいた。すなわち、第 4 図の如く両者の大まかな様子は一致しており、上面か



第 2 図 試料の採集地 (+印)

Fig. 2. Sampling site of Shikotsu welded tuffs.



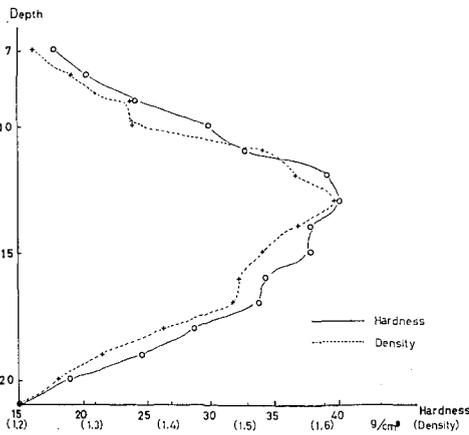
第 3 図 試料 No. 11 に対する 190 回の測定によるショアー硬度の頻度分布

Fig. 3. Frequency distribution of Shore-hardness of the sample No. 11 obtained by 190 measurements.

ら 12 m~13 m のあたりで最大になっている。ところで、みかけの比重や空隙率の単一堆積層における垂直変化の調査はかなり古くから行なわれている。結果は同じになっているが、先にも述べたように、単なる固化ではなく、溶結という現象をよりよく表わすためには、みかけの比重（空隙率）を測定するよりもショア硬度の方がこの現象をより忠実に示すだろうと考える。単一堆積層におけるこのような溶結の進み具合の変化は何を示すのであろうかという問題

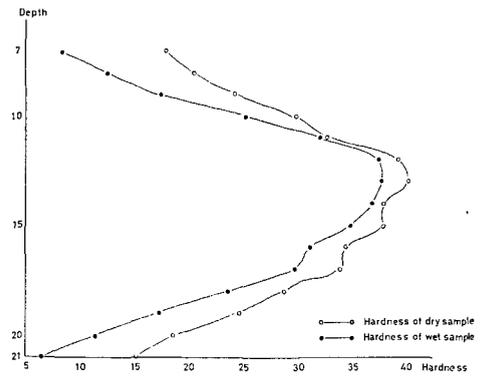
第1表 乾燥した試料のショア硬度とみかけの比重  
Table 1. Shore-hardness and bulk density of dry samples.

試料番号 No.	測定に用いた 試料の数	測定の回数	硬 度	標 準 偏 差	みかけの比重 ( $\rho$ )
7	9	90	17.8	3.4	1.22
8	8	80	20.3	3.1	1.27
9	4	50	24.2	3.2	1.35
10	10	100	28.7	4.1	1.35
11	1	20	32.7	3.9	1.52
12	5	53	39.1	4.2	1.55
13	1	20	40.2	4.8	1.62
14	3	37	37.8	4.7	1.55
15	1	20	37.8	4.8	1.52
16	3	28	34.4	4.5	1.49
17	1	20	33.8	4.6	1.48
18	3	37	28.7	4.2	1.39
19	1	20	24.6	2.7	1.31
20	3	40	18.5	2.6	1.24
21	2	30	15.2	2.2	1.23



第4図 乾燥した試料のショア硬度とみかけの比重

Fig. 4. Shore-hardness and bulk density of dry samples.



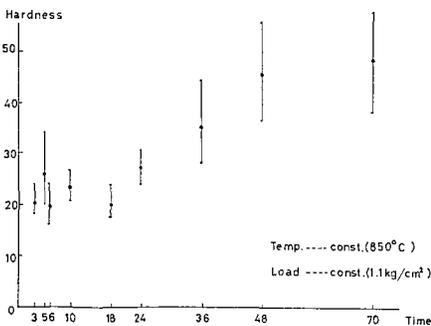
第5図 乾燥した試料と水で飽和した試料とのショア硬度

Fig. 5. Shore-hardness of dry samples and that of water saturated samples.

があるが、これまでの、多くの研究者による実験結果、すなわち、溶結は加熱温度、加熱時間、圧力、水蒸気の量の増加に伴って進展するということから考えれば、これらの要素の組み合わせが、溶結の進み具合の違いを作るのであろう。この測定に用いた試料は数日間実験室に放置して乾燥したものをを用いた。次に、同じ試料を十分に水に浸した後のショア硬度も測ったので参考のために第5図に示した。水で飽和した試料の方が全体的に低いショア硬度を示しているのは、水に浸すことによって試料の塑性変形が容易になったためであろう。

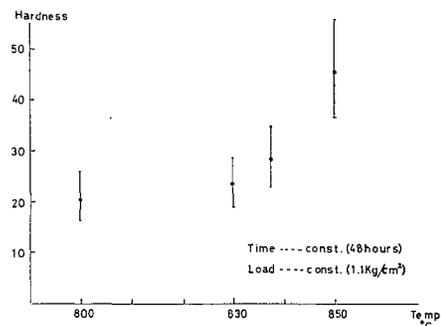
### 3. 加熱によるショア硬度の変化

溶結凝灰岩の溶結には温度、時間、圧力、揮発性成分の量が重要な役割を果たすと考えられるが、加熱装置の都合上今回は温度、時間、圧力のみが考慮された。電気炉の温度は $\pm 10^{\circ}\text{C}$ の範囲で一定に保たれるようになっている。この加熱実験では特に試料 No. 7 ( $\rho=1.5$ ) を用いたので、圧力については現在のこの地点での支笏軽石流堆積物の厚さが堆積当時のままであると仮定して、試料 No. 7 (崖の上端から下方垂直に7 mの地点で採集したもの)に加わったであろうと考えられる $1.1\text{ kg/cm}^2$ の一軸圧を加えた。加熱時間を種々に変えて、試料 No. 7のショア硬度を測ってみると、温度を $850^{\circ}\text{C}$ 、荷重を $1.1\text{ kg/cm}^2$ で一定にした場合、第6図の如く、36時間加熱した試料は、より少ない加熱時間で止めた試料に較べて、ショア硬度の急激な増加が見られた。そして、さらに48時間以上加熱した試料についてもそれほどの増加は見られなかった。すなわち、加熱時間の効果の差がほとんどなくなると考えられる。そこで、荷重を同じく $1.1\text{ kg/cm}^2$ で48時間ずつ $800^{\circ}\text{C}$ から $850^{\circ}\text{C}$ の温度で加熱すると、第7図の如く $830^{\circ}\text{C}$ 以上で加熱した試料はそれ以下のものに較べてショア硬度が急激に増加している。その結果、 $830^{\circ}\text{C}$ の加熱で得られたショア硬度は約23で、これはNo. 8~No. 9の試料のショア硬度に相当し、 $840^{\circ}\text{C}$ の加熱で得られたショア硬度は約27で、これはNo. 9~No. 10の試料



第6図 温度一定 ( $850^{\circ}\text{C}$ )、荷重一定 ( $1.1\text{ kg/cm}^2$ ) で加熱時間をいろいろ変えた場合のショア硬度

Fig. 6. Change in Shore-hardness of sample No. 7 with increasing time under constant temperature and load.



第7図 時間一定 (48時間)、荷重一定 ( $1.1\text{ kg/cm}^2$ ) で温度をいろいろ変えた場合のショア硬度

Fig. 7. Change in Shore-hardness of sample No. 7 with increasing time under constant time and load.

のショアー硬度に相当し、850°Cの加熱で得られたショアー硬度は約46で、これは試料 No. 13のショアー硬度より約5程大きい。すなわち、常盤における支笏軽石流堆積物の中で830°Cから850°Cの温度が少なくとも48時間以上保たれていたという結果になる。一方、ナポレオーネおよび横山<sup>6)</sup>により同じ試料を用いた残留磁気の測定から堆積時の温度を推定することがなされている。それによると、最も高い温度の保たれていた部分で約600°C以上という結果が得られており、その部分が試料 No. 11~No. 12のあたりに相当している。以前から溶結凝灰岩を作る多くの実験が行なわれて来た。例えば、八木<sup>7),8)</sup> Boyd<sup>9)</sup>によって、揮発性成分として水蒸気を考慮すると溶結温度を下げ得ることが示されている。実際に、Boyd等により軽石流を成すガラスには0.15%~0.3%の水が含まれていることが知られている<sup>10)</sup>。したがって、実際の堆積温度は830°C~850°Cという値よりもかなり低かったのではないかと考えられる。

第2表 加熱実験の例

Table 2. Example of thermal experiments.

加熱温度 (°C)	圧 力 (静水圧)	時 間 (hours)	水	結 果	実 験 者
800	0	22	な し	溶結しない	八 木 <sup>7)</sup>
900	0	48		わずかに溶結	
1000	0	24		溶 結	
590~620	52 atm.	80	0.45%の水を試料と 共に白金カプセルへ な し	溶 結	BOYD <sup>9)</sup>
690	48 atm.	72		わずかに溶結	
622	<30 kg/cm <sup>2</sup>	16	直径3mm, 長さ15mm の銀容器へ10~20cc の水と共に封入	溶結しない	八 木 <sup>8)</sup>
620	40~60 kg/cm <sup>2</sup>	45		わずかに溶結	
590	70~80 kg/cm <sup>2</sup>	20		やや溶結	

謝 辞： 御指導、御助言をいただいた横山泉教授に感謝いたします。又、試料採集に協力していただいた当教室の有松啓治君にお礼を申し上げます。

- 6) G. ナポレオーネ・横山 泉；支笏溶結凝灰岩の磁氣的性質，日本火山学会1969年春季大会で発表。
- 7) 八木健三・松山 力・七崎 修；軽石の密度—溶結凝灰岩生成機構についての一考察，火山2集，5 (1960), 99-109.
- 8) 八木健三；火山碎屑流に関する Experimental Petrology, 火山2集，8 (1963), 134-143.
- 9) F. R. BOYD; Welded Tuffs and Flows in the Rhyolite Plateau of Yellowstone Park, Wyoming, Bull. Geol. Soc. Amer., 72 (1961), 387-426.
- 10) F. R. BOYD and G. C. KENNEDY; Some Experiments and Calculations relating to the Origin of Welded Tuffs (abs.), Amer. Geophys. Union Trans., 32 (1951), 327-328.

## 6. On the Hardness of Welded Tuff from Shikotsu Caldera

By Fumiaki TAKAHASHI

(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University)

Welded tuff shows a characteristic variation in the stage of development of welding along a section of one pumice flow unit. Many field observations of welded tuff have been achieved and many experiments of synthesizing welded tuff from powder of pumice have been performed too. The degree of welding is investigated qualitatively by the naked eye or under the microscope and quantitatively by the variation of bulk density (porosity). Though the variation of porosity shows the degree of welding, physical meaning of welding can not be explained completely only by variation of porosity. By welding the mechanical properties of material change sensitively. Mechanical properties are not connected with porosity linearly.

The variation of hardness of welded tuff with depth was measured with a Shore hardness meter. The samples were taken from Shikotsu pumice flow deposits at Tokiwa in southern Sapporo. The Shore hardness meter was employed because it is indicative of resistivity to the limited breakage on the sample surface.

The pieces of welded tuff at 7 meters from the top of the deposits (sample No. 7) were kept at 850°C under uni-axial pressure of 1.1 kg/cm<sup>2</sup> for various durations of time up to 70 hours. The pressure was estimated from average bulk density of the tuff at 4 to 7 meters from the top. The hardness remained almost constant when, when the duration of heating did not exceed 18 hours. The Shore hardness increased gradually when the duration of heating was increased from 18 hours to 48 hours. For the duration of heating over 48 hours the hardness became independent of the duration.

Consequently, four pieces from sample No. 7 were kept at 800°C, 830°C, 840°C and 850°C respectively for 48 hours under the same pressure. The Shore hardness was measured as 23 at 830°C, 27 at 840°C and 46 at 850°C. These values agree with those of samples No. 8 or No. 9, No. 9 or No. 10 and No. 13 respectively.

It may be concluded, therefore, that the temperature in the welded part of the deposits at Tokiwa had been kept at a range from 830°C to 850°C for more than 48 hours. However, it is generally known that the temperature of welding can be lowered by adding of water vapor and also known that the glass in pumice flow contains 0.15%–0.3% H<sub>2</sub>O. By considering these factors, we may say that the real temperature at the time of deposition might be lower than 830°C–850°C.