Title	6.支笏溶結凝灰岩の硬度について				
Author(s)	高橋, 文明				
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 24, 73-79				
Issue Date	1970-09-18				
DOI	10.14943/gbhu.24.73				
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/13982				
Туре	bulletin (article)				
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) 一昭和45年4月受理一

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 Ross¹⁾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偏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、互いにち密に密着し、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 加わったのだろうと考えられ てい る⁸⁾。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 記速 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応用される焼結 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 Frenkel³),Mackenzie and SHUTTLEWORTH⁴⁾ 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5 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⁾ 例文 lf, C. M. GILBERT; Welded Tuff in Eastern California, Bull. Geol. Soc. Amer., 49 (1939), 1829-1862.

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

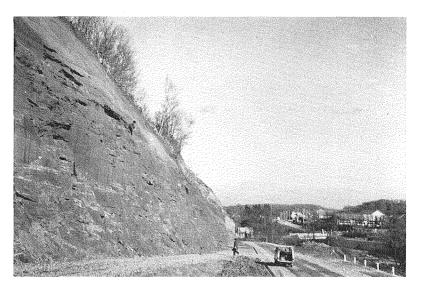
J. K. MACKENZIE and R. SHUTTLEWORTH; A Phenomenological Theory of Sintering, Proc. Phys. Soc. (London), 62, 12-B (1949), 833-852.

⁵⁾ 例えば, 久保輝一郎・神力喜一; 粉体一理論と応用, 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充分である。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ア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,時間で加熱した後に,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18km離れている。付近を流れる真駒内川の河床から推

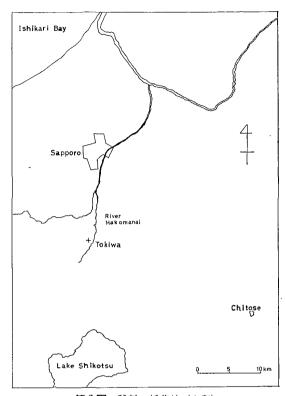


第1図 試料の採集地の写真

Fig. 1. Photo of sampling site.

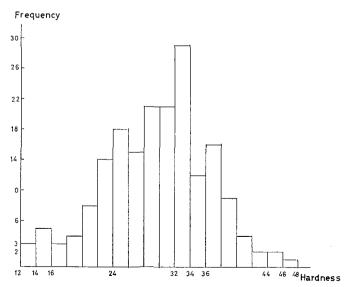
定して約25m程堆積していると考えら れるこの溶結凝灰岩の崖で、上面から下 方垂直7m~21mの岩石を1m毎に採集 し, この試料に No.7~No.21 の呼称を 付けた。なお、異方性の存在を考慮し、 試料は溶結凝灰岩の産状における水平面 が必ず出るように成形され、硬度の決定 にはこの面を用いた。ところで、ショア - 硬度計で硬度を測った場合その値には 大きなばらつきがある。本来、ショアー 硬度計は金属材料のように、ほぼ均質な 物質の硬度を調べるものであり、これを 岩石に応用すれば、岩石マトリックスの 不均一さから大きなばらつきが出るのは やむを得ない。特に,溶結凝灰岩のよう に大きな軽石片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 の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, 測定の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

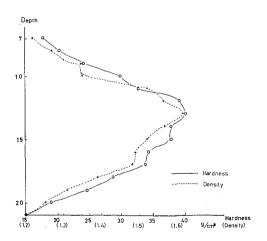
Fig. 3. Frequency distribution of Shore-hardness of the sample No. 11 obtained by 190 measurements.

ち 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ー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

Table 1. Short-naturess and but 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 (ρ)
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

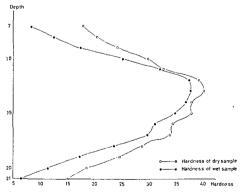
第1表 乾燥した試料のショアー硬度とみかけの比重

Table 1. Shore-hardness and bulk density of dry samples.



第4図 乾燥した試料のショアー硬度と みかけの比重

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



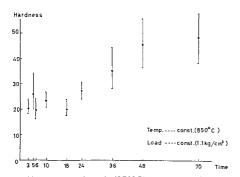
第5図 乾燥した試料と水で飽和した試 料とのショアー硬度

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用いた。次に、同じ試料を十分に水に浸した後のショアー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ー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。

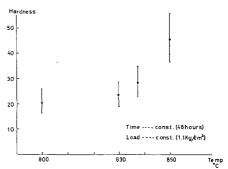
3. 加熱によるショアー硬度の変化

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 $\pm 10^{\circ}$ 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 (ℓ =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 kg/cm² の一軸圧を加えた。加熱時間を種々に変えて,試料 No. 7 のショアー硬度を測ってみると,温度を 850°C,荷重を 1.1 kg/cm² 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,ショアー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 kg/cm² で 48 時間ずつ 800°C から 850°C の温度で加熱すると,第 7 図の如く 830°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ー硬度が急激に増加している。 その結果,830°C の加熱で得られたショアー硬度は約 23 で,これは No. 8~No. 9 の試料のショアー硬度に相当し,840°C の加熱で得られたショアー硬度は約 27 で,これは No. 9~No. 10 の試料



第6図 温度一定 (850°C), 荷重一定 (1.1 kg/cm²) で加熱時間をいろいろ変えた場合のショアー硬度

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 kg/cm²) で温度をいろい ろ変えた場合のショアー硬度

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⁶⁾ 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 7,8) Boyp 9) 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、Boyp 等により軽石流を成すガラスには $0.15\%\sim0.3\%$ の水の含まれていることが知られている 10 。 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	e 2.	Example	ot	thermal	experime	nts.
-						7
- 1		1				

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

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; 支笏溶結擬灰岩の磁気的性質, 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; 火山砕屑流に関する 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/cm² 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% H₂O. By considering these factors, we may say that the real temperature at the time of deposition might be lower than 830°C-850°C.