

岩石の力學的性質に關する問題

—硬さと引張強さについて—

西 原 正 夫

岩石の力學的諸性質を明らかにすることは鑛山や土木に關する問題の解決の爲に必要であり、従つてそれらの分野に於いて多くの研究が行われているが、それに反して地質學乃至岩石學の方面ではあまり問題にされていないようである。しかし乍ら地質學、岩石學が少くとも岩石を主要な研究の對象とする限り岩石及び造岩鑛物の力學的性質は他の物理的化學的性質と同様に重要な研究問題でなければならない。筆者は岩石の力學的性質について研究を行つてゐるが、その中で特に硬さと引張強さの二つに關して若干の實驗と考察を試みたので報告する。

(I) 一般に硬さとか硬度は物質の硬軟の程度であるというように了解されているが、これは密度や速度のように明確に定義されている物理的量はなく漠然としたものである。結晶質、非結晶質を問わず物體の硬軟の度を定めることが實際上必要であり便利であつた爲、古くからいろいろな測定方法が物理學、鑛物學、工學等の分野に於いて考察されている。従つて又硬さの定義も多種多様である。現在廣く用いられている硬さ(硬度)及び硬度計は Mohs, Martens, Bricell, Vickers, Rockwell, Shore 等であつて、これらの中で Mohs 以外は主に金屬材料の試験に採用されている。Mohs, Martens の硬度は“ひつかき” scratching による方法で、ひつかき硬度 scratch hardness と呼ばれているものである。鋼の球、ダイヤモンドの圓錐或は角錐などを試験片の表面に外力を加えて押しこみ、そこに生じた凹みの大きさから硬さを定める方法、即ち“押しこみ” indentation によるのが Brinell, Vickers, Rockwell の方法である。Shore の方法は先端にダイヤモンドを付けた重りを一定の高さから落下させた時試験片にあたつてはね上る高さによつて硬さを測定する動的な方法で、これに對して“ひつかき”や“押しこみ”によるのは靜的な方法である。Hertz が定義した絶対硬度¹⁾は物質の彈性限内の性質のみで決定される硬度であるが、こういう例外をのぞけば一般に硬さの測定では何等かの形で永久變形をさせているのであるから、硬さは永久變形に對する抵抗の度合といふことができる。鑛物の結晶の硬さを決めるのには Mohs の尺度に従つてゐるが、これは單に硬さの順序を定める方法にすぎないのであつて、定量的に定める

には Seebeck が考案した試硬器 Sclerometer によるか Martens 硬度計によらなければならない。鑛物や岩石の硬さを押しこみの方法で測るといふことも考えられる。しかし金屬の合金も岩石も同様に多くの結晶が集合したものであるにもかかわらず、金屬に對して適當な押しこみ法は鑛物や岩石のようなもろい物質に對しては適當でない。押しこみによつて作られる永久變形の量が小さく、又荷重を増して變形量を増大させようとすれば試験片が破壊するといふことが押しこみ式の硬度計で各種の鑛物岩石について實驗した結果明かとなつた。Shore の硬度計は取扱いが簡單で、もしこの方法で鑛物や岩石の硬さが測れると好都合であるが、やはり試料に割目ができたりして適當な方法でないように思われる。結局鑛物や岩石の硬さを定量的に定める手段としては現在では試硬器か Martens 硬度計による以外によい方法がない。Martens 硬度計は頂角 90° の圓錐形ダイヤモンド試験片をひつかく装置で、通常一定の巾 (0.01 mm) の溝を作るに要する荷重をグラムであらわした値又は一定の荷重の下でひつかいた時の溝の巾をミリメーターであらわした値の逆數をもつて硬さを示すことになつてゐる。しかし一定の巾の溝を作るに要する荷重を求めたり、試硬器で行うように傷をつけるに要する荷重を測ることは技術上かなり困難であるから、一定荷重の時の溝の巾を測定する方法がよい。ダイヤモンド圓錐の頂角が大きい程溝の巾が大となつて測定が容易になるという理由で K. Sporkert は頂角 120° の圓錐を使用することを提唱しているが、²⁾ 普通 90° のものが廣く用いられている。E. Meyer によれば³⁾ 溝の巾を d mm, 荷重を P gr とすると材料に固有の硬さ(“ひつかき”による) R_M は

$$R_M = \frac{8P}{\pi d^2}$$

であらわされる。この場合 P と d^2 が正比例すれば R_M は P に無關係な物質固有の値となるが、金屬について測定された結果によればそのようになつてゐない。⁴⁾ 鑛物については筆者が方解石で測定した所によると金屬と同様 P/d^2 の値は一定にならない。他の硬さ測定法でも同じであるが、實際に硬さを測る場合には試験片の表面にそれよりも硬い物をあてがつて、ひつかいたり押しこんだり

するのであるから當然その部分には應力集中し、その分布も一様でないと考えられるし、又硬さは結晶のマクロスコピックな性質の内、A. Smekal 等のいう構造に敏感 Structure-sensitive な性質、⁹⁾ 即ち構造缺陷に左右され易い性質であると思われるから、硬さをその測定値が物質に固有な値となる様に定義することは極めて困難であろう。鑛物の結晶はたとえ大きなものが得られたとしても引張強さ、壓縮強さ等を試験するには試験片の整形、保持の方法などかなり困難であるのに對して、硬さは小さい試料について充分測定が可能であり、又殆んど特別な整形を必要としない點からみれば、定義が明確でないとしても鑛物の力學的性質を比較する有力な方法といふことができる。顯微鏡硬度計によつて金屬合金の各組織に應じて局部の“押しこみ硬さ”が調べられている⁹⁾ のと同様に化合物或は固溶體が單結晶の鑛物として示す硬さと多結晶體の岩石になつた場合の硬さを比較することも岩石の硬さを明らかにする一方法である。筆者は一例として方解石(滿洲長嶺子産)、大理石(茨城縣久慈郡眞弓産)、石灰岩(京都府南桑田郡出灰産)のひつかけによる硬さを Martens 硬度計で測定比較した。荷重を 50 gr にした時の溝の巾を顯微鏡でよみとり逆数を以て硬さとした。方解石の結晶面は三方晶系、六方晶系何れによる記載も可能である。今三方晶系で取扱ひと菱面體の諸面は (100), (010), (001) となる。測定する面として (001) 面をえらび、その面上で (010) 又は (100) 面に平行な方向と (110) 又は (110) 面に平行な二つの方向をとり、各方向の二つの向きについて測定を行つた。大理石と石灰岩は方解石のように劈開面を利用できないので金屬と同様に磨いた面で硬さを測つたが、多結晶の爲に方向、向きによる差は認められない。これ等の結果を表にして示すと次の通りである。

試料	方 解 石				大理石	石灰岩
測定面	劈 開 面 (001)				研磨面	研磨面
方 向	(010)に平行		(110)に平行		—	—
向 き	A	B	A	B	—	—
硬 さ	41.5	17.9	70.9	27.6	26.9	30.6

“向き”の欄ではA極端から遠ざかるような向きを、又Bは近づくような向きをあらわしている。表から明らかなように大理石と石灰岩の硬さは方解石の硬さの範囲内にあるが、ここで注意しなければならないことは、磨いた大理石や石灰岩の面上にあらわれている個々の CaCO_3 の面は劈開面であるとは限らないのであつて研

磨によつて作られた任意の方向の面があらわれていることである。それ故大理石や石灰岩の硬さは CaCO_3 のあらゆる面(これは可能な結晶面という意味ではない)のすべての方向と向きに於ける硬さを母集團⁹⁾と考えた時の標本平均⁹⁾に相當する。これから考えられることは岩石の硬さと造岩鑛物の單結晶の特定の面上の硬さとの直接の對應を求めるのは困難であるということである。しかし單結晶の特定の面上の硬さも上述の母集團から抽出した標本であるから劈開面上の硬さを求めることも決して無意味ではないが、それよりも單結晶を磨いていろいろな面を作りその面上での硬さを求めることの方が多結晶體である岩石の硬さと比較するのに適當だといえよう。

(II) 筆者は前に引張強さが長さの増大と共にほぼ長さの對數に比例して低下する現象を引張強さの“長さ効果”(length-effect)と呼び、炭素鋼(0.60% C)について試験した結果を發表したが、^{9) 10)} この長さ効果は金屬以外のものについても認められる筈である。しかし乍ら岩石や鑛物について實驗することは極めて困難である。それは試験片の長さを非常に廣い範圍にわたつて變えたものを必要とし、實際上均質でしかも長い試料を得ることが及びこれから試験片を作製することが殆んど不可能に近いからである。岩石の引張強さは土木、建築、鑛山等の方面で多數の試験が行われているが、それらの結果は何れも短い試験片について得られた値であつてその値を試験片の長さに比較してずつと長さの大きい岩體に適用することは、少くとも“長さ効果”がある限り危険なことといわねばならない。強さに關する統計的理論に於いては一般に長さ、面積、體積の増大は強さの低下を意味し、斷面積が2倍になつても強さが2倍になるとはいえないのであつて、引張の強さをあらわすには最初の斷面積を附記した最大荷重又は最大外力を以てするのが良い。單位の長さの試験片の最大荷重を B、長さ e の試験片のそれを Be とする時

$$Be = B - k \log e$$

という關係が成立すれば、k の値を求めておけば短い試験片について得られた値から長い岩體の引張強さを推定することができる。先に述べた通り炭素鋼(0.60% C)ではこういう取扱ひができることを認めたが岩石についてはまだ明かでない。尙追加しておきたいことは通常の引張試験の方法と異つて、圓柱形の試験片を軸に垂直な方向から壓縮して引張強さを求める方法が岩石やコンクリートの試験に用いられていることである。この試験方法による強さは壓裂強度といわれ、¹¹⁾ 圓柱形試験片の長さを e、直徑を d、破壊荷重を P とすれば、破壊時の引

張應力 δ_t は次の式で與えられる。

$$\delta_t = \frac{2P}{\pi de}$$

山形縣油戸炭礦に於いてボーリングコアとして取られた砂岩と福島縣常磐炭礦藤原堅坑より取られた白坂頁岩について堀部氏が試験された結果¹²⁾によると引張強さは d を一定にすれば e/d の値によらず一定となるとのことであるが、 a の値が變化した時に δ_t が如何に變化するかは強さの統計論的立場から興味の深い問題である。

以上で岩石の硬さと引張強さについての考察が終るがこれ等の問題に關して行つた實驗結果の詳細は他の機會に發表する豫定である。

尙 この研究の一部は 24 年度同志社大學研究助成金によつたことを附記する。

- 1) 中原, 柏原: 金屬塑性學 (概要篇) 昭 19, p. 155~158
- 2) Metallwirtschaft, Bd. 34 (1947) S. 854~859
- 3) Handbuch der Werkstoffprüfung, Bd. II, (1939), S. 346
- 4) ibid. S. 347
- 5) Handb. Phys. 24/2, Kap 5 etc.
- 6) 日本金屬學會誌, 13 (1949) 3, p. 29~33
- 7) 増山: 實驗計画法大要 p. 49 等を参照されたい。
- 8) ibid. p. 57
- 9) 日本金屬學會, 昭 24 年秋期大會講演概要 p. 26
- 10) 西原: 機械の研究 2 (1950) 8, p. 423~424
- 11) 赤澤常雄: 土木學會誌, (昭 18), p. 777~787
- 12) 堀部富男: 日本鑛業會誌, 66 (1900) 747, p. 355~365

ENGLISH ABSTRACTS

THE GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE YAKUNO DISTRICT, KYOTO PREF.

Keiji Nakazawa

1. The geological structure of this district is characterized by zonal structure of Permian and Triassic formations. There may be recognized at least four zones running E-W trend, namely, the I zone of Kawanishi Group (middle Triassic), the II of Yakuno Group (middle triassic), the III of Nukada Formation (Permian), and the IV of Heki Formation (upper Triassic) and Yakuno Group.

2. These zones contact each other by steeply northward dipped or almost vertical faults. Therefore the character of the structure is neither "Decke" structure nor "Klippe" but alike the "sandwich structure" of the outer zone of Kyûshyû Province.

3. The relation between sedimentary rocks and the basic intrusive rocks, distributed at the southern border of the area, is not fault as formerly considered, but sheet-like intrusion.

ON THE DISTRIBUTION OF THORIUM HALO IN THE GRANITES OF KINKI DISTRICT, JAPAN

Ichikazu Hayase

The granitic rocks of Kinki district have more or less the pleochroic haloes, which were studied widely by the writer. As the result, it is concluded that the distribution of Th-haloes in rocks of this district is limited in the band of Ishigure-Tanakami-Nose district, while the granites in other parts have only U-haloes.

Generally speaking it is a rule that variation of the type of haloes is associated with that of the nucleus minerals.

GEOLOGY OF THE CAPE SOYA DISTRICT, NORTH HOKKAIDO.

Toshiharu Etô

The account of the geology of this district was made by K. Jimbô in 1894 for the first time, and later by Y. Okamura in 1912, but only few fossils

were recorded at a few places along the coast-line. In 1940 the geology of the west part of this field was published by M. Tagami briefly and by T. Yagi in detail, but the central and east parts of it remained unknown. In 1949 the writer surveyed this area at the request of P.E.A.C. and found that it consisted of the Cretaceous, Tertiary and Quaternary formations of which stratigraphic classification might be summarized as Table 1. Distribution, lithological character and geotectonics of the formations are mentioned in the text, and the lists of the fossils yielded from the formations are given in Tables 2, 3 and 4.

SOME PROBLEMS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF ROCKS

Masao Nishihara

The present paper describes results of an experiment and considerations about hardness and tensile-strength of rocks. From the viewpoint of the statistical theory of strength, the author concludes that it is desirable to measure hardness on polished surfaces rather than on natural crystal faces, and that the length-effect of tensile-strength must be observed in the case of rocks as well as that of metals. In the latter case the existence of the effect has already been proved experimentally by the author.

ON THE MEASUREMENTS OF RADON CONTENT IN HOT OR MINERAL SPRINGS.

Zin'itirô Hatuda

The apparatuses for the measurement of radon content in natural springs generally used in Japan are Engler-Sievers, IM-, Schmidt- and HS-fontactoscope. The last is a modification of Schmidt-fontactoscope with improvements in many respects recently designed by the author.

In this paper, the general description of these kinds of apparatus, their uses in detail, especially of HS-fontactoscope, are given as well as criticism on the measurements and structure of them.