

松代産岩石の高圧変形実験 (第1報)

星野一男

地質調査所燃料部

南雲昭三郎

東京大学地震研究所

Experimental Deformation of the Rocks of Matsushiro Area (Report I)

By

K. HOSHINO

Geological Survey of Japan, Tokyo

and

S. NAGUMO

Earthquake Research Institute, Tokyo University

Abstract

Five representative rocks of Matsushiro area, basalt (from Hoshina, Wakaho), shale (Miocene, Bessho formation), diorite (intruding into Bessho formation), Kimyōsan tuff (Pliocene) and Minakamiyama andesite (Pleistocene), were experimentally deformed under confining pressures of up to 2,000 bars. The specimens were carefully prepared in cylindrical form, 19.5 mm in diameter, 39.0 mm in length. The dry specimens were deformed at room temperatures and at a strain rate of $3.5 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$. Specimens of basalt, shale and diorite are brittle even at the pressure of 2,000 bars, while those of tuff and andesite turn ductile at 500 to 1,000 bars. Relations between the confining pressure and the maximum strength, ductility, Young's modulus, and bulk modulus are given in the figures.

Shale, diorite and basalt would have strengths of 4,000 to 10,000 kg/cm^2 at the depth of 2 or 6 km, which is estimated a scope of epicenters of Matsushiro earthquakes. Stress difference is so large that it is difficult to consider probable existence of such stress difference during the earthquakes. Therefore, earthquakes in Matsushiro area this time are possibly related to minor failures which occur from the stress difference less than the yield stress.

1. 実験試料・実験方法

松代付近の代表的岩石として5種をえらんだ。

玄武岩(試料記号XIM)：若穂町惣窪山南の沢、
高度720m付近にて採取、おそらく守屋層に
属する。

閃緑岩(XIO)：松代町白石にて採取、松代町周
辺に占在するこれら閃緑岩は別所層を貫いて
おり、石英斑岩としばしば漸移する。

頁岩(XIL)：松代町南部、西条より南流する
沢、680m付近にて採取、黒色、硬質、別所
層に属する、中新世。

奇妙山凝灰岩(XIN)：松代町柴採石場にて採
取、粗粒ラピリ質、鮮新世。

皆神山安山岩(XIP)：皆神山北麓における防
災センター試験井より深度約100m付近にて
採取(図-10参照)。

これらの試料を高さ39.0mm, 直径19.5mmの円筒形に整形した。これらを長時間大気中に放置し、自然状態のまま実験に供した。各岩種の湿潤

密度, 乾燥密度, 空げき率, 粒子密度, 湿潤P波速度, 乾燥P波速度を地質調査所物探部井波和夫技官が測定した値を表-1に示す。

Table 1. Physical properties of the rocks tested.

	P波速度 (自然乾燥)	P波速度 (湿潤)	湿潤密度	乾燥密度	空げき率	粒子密度
S.No.	Natural dry V_p	Wet V_p	ρ_{wet}	ρ_{dry}	$n(\%)$	ρ_{grain}
X I L	5.13 km/s	4.81	2.67	2.64	2.56	2.71
X I M	6.81	6.43	2.91	2.90	0.86	2.93
X I N	4.50	4.36	2.45	2.37	7.76	2.57
X I O	5.43	5.13	2.68	2.66	2.56	2.73
X I P	3.07	3.07	2.14	1.97	16.38	2.36

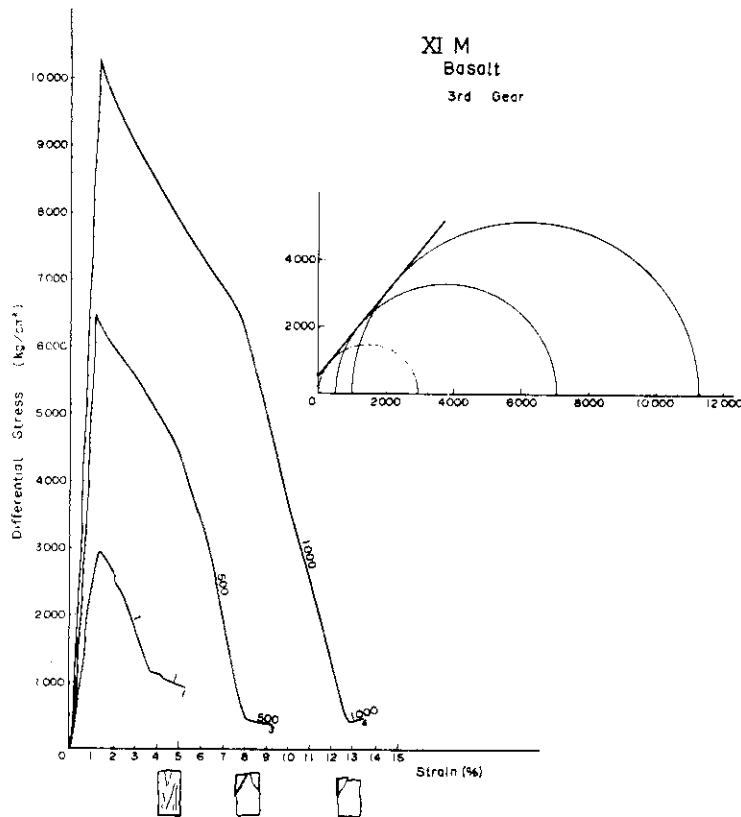


Fig. 1. Stress-strain curve and Mohr envelope of Wakaho basalt.

実験は地質調査所にある軸圧容量50トン、測圧容量 $4,000 \text{ kg/cm}^2$ の岩石用三軸試験機を使って行なった。ひずみ速度は歯車加速により降伏点まではほぼ一定で約 $3.5 \times 10^{-3} \text{ sec}^{-1}$ である。

2. 実験結果

図-1, 2, 3, 4, 5に玄武岩, 閃緑岩, 頁岩,

奇妙山凝灰岩, 皆神山安山岩の応力ひずみ曲線とモール包絡線を示す。玄武岩の1,500, 2,000 bars, 閃緑岩の1,000, 1,500, 2,000 barsは玄武岩の強度が予想よりも大きく、ピストンが破壊したため実験不能となった。

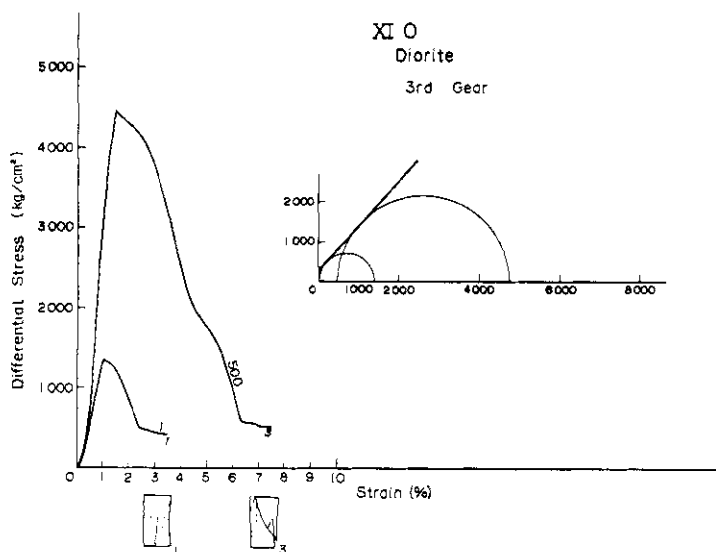


Fig. 2. Stress-strain curve and Mohr envelope of diorite.

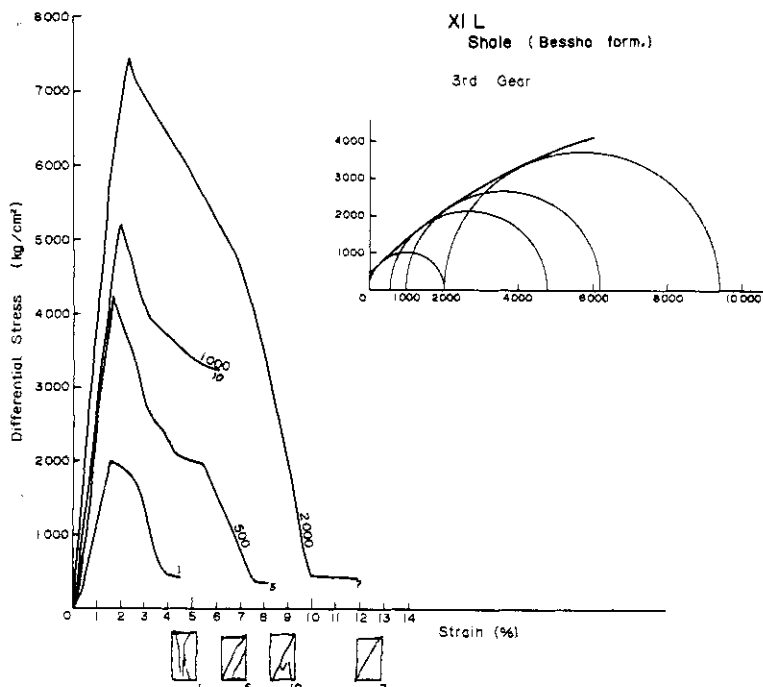


Fig. 3. Stress-strain curve and Mohr envelope of shale, Bessho formation.

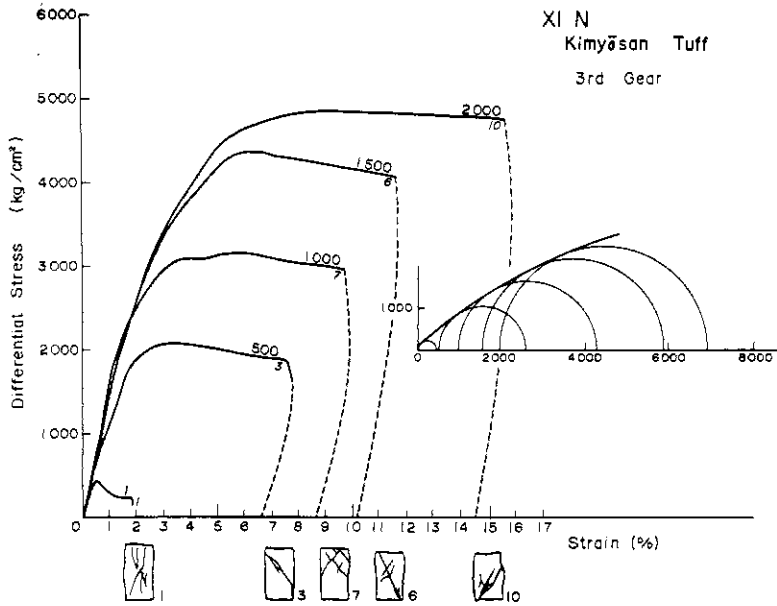


Fig. 4. Stress-strain curve and Mohr envelope of Kimiyōsan tuff.

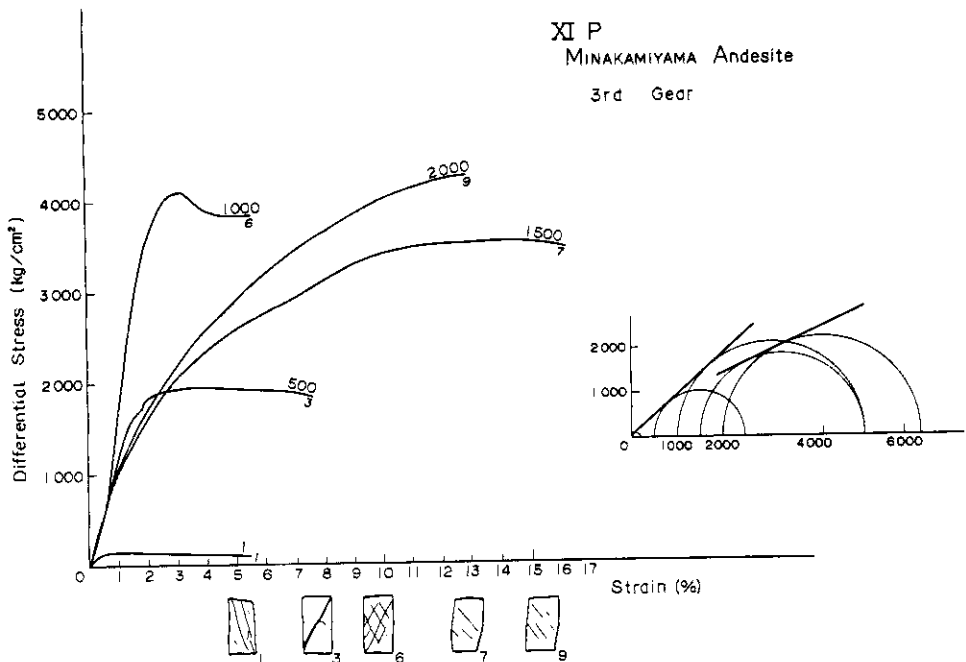


Fig. 5. Stress-strain curve and Mohr envelope of Minakamiyama andesite.

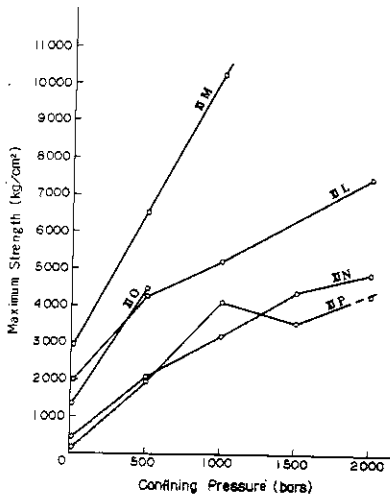


Fig. 6. Confining pressure vs. maximum strength.

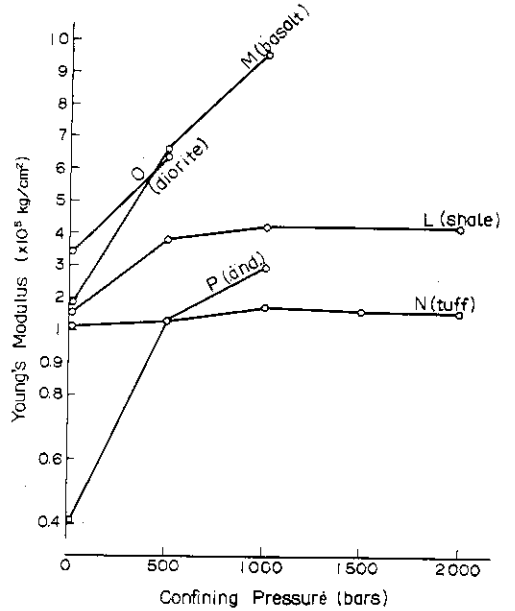


Fig. 8. Confining pressure vs. Young's modulus.

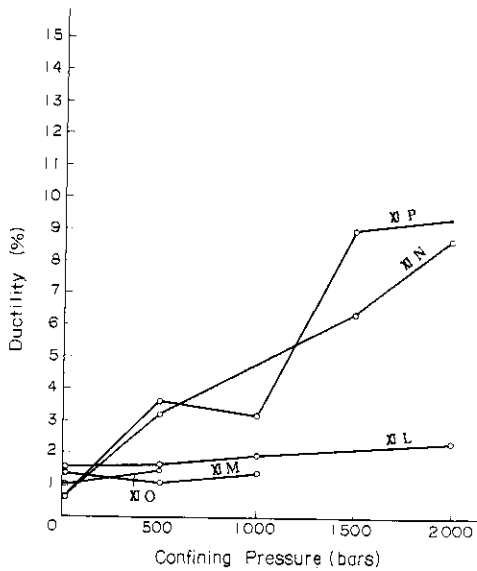


Fig. 7. Confining pressure vs. ductility.

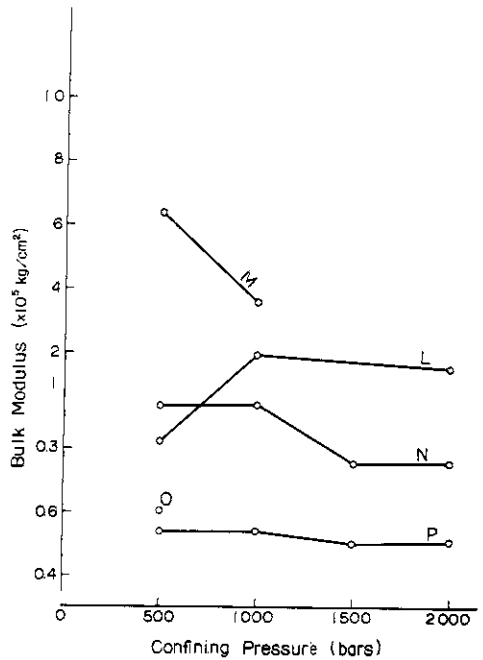


Fig. 9. Confining pressure vs. bulk modulus.

図-6~9は以上に得られた結果をもとに作成されたものである。図-6は横軸に封圧、縦軸に最大差応力、すなわち実験中到達された最大軸圧と封圧との差を取ったものである。これを最大強度と呼ぶ。玄武岩は非常に硬く常圧で2,950 kg/

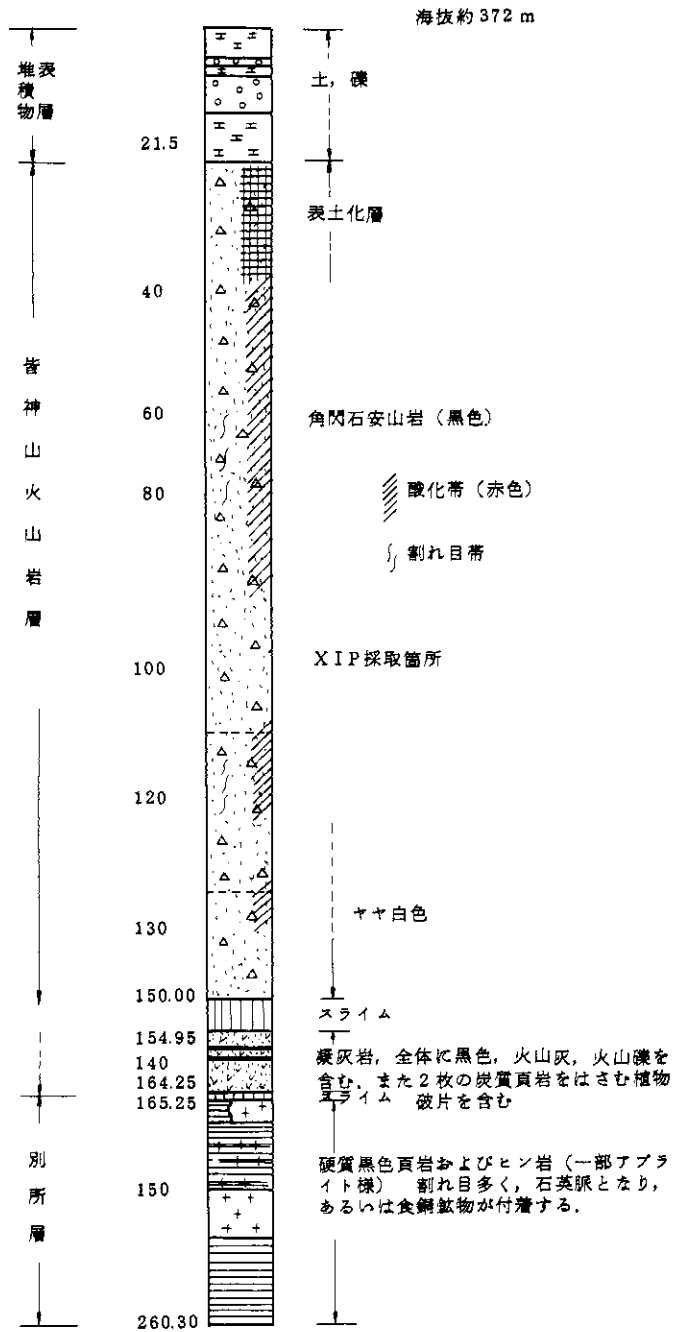


Fig. 10. Columnar section of the test hole of Minakamiyama. Sample XIP was taken from a depth of around 100 m.

cm²であり、封圧1,000 barsですでに10,000 kg/cm²をこえる強度を有する。閃緑岩、頁岩はこれに次ぎ常圧で1,300から2,000 kg/cm²、1,000 barsで5,000 kg/cm²、2,000 barsで7,000 kg/cm²の強度を有する。奇妙山凝灰岩、皆神山安山岩はほぼ同様の強度を有し、常圧で200から500 kg/cm²、2,000 barsで約4,000 kg/cm²である。一般に封圧とともに強度は増大するが、奇妙山凝灰岩のみは1,000 barsから1,500 barsにうつるところで強度が減少する。

図-7は横軸に封圧、縦軸に延性(ductility)をとったものである。延性とは岩石がもろさ(brittle)から延性(ductile)に移る程度を表現するもので巨視的割れ目が作られたときのひずみ%をもってこれを示す(星野, 1966)。奇妙山凝灰岩、皆神山安山岩は常圧ではもろいのであるが、500 barsで延性が約3%に達しやや延性状態になる。1,500, 2,000 barsではかなり延びる(ductile)ようになり ductile faults に近い破壊様式をとる。これに対して玄武岩、閃緑岩、頁岩は高封圧下でももろくて(brittle)延性は常圧時から2,000 barsに至るまでほとんど増加せず1から2%の値をとっている。延性は一般に封圧に応じて増大するが、ここでも奇妙山凝灰岩は例外的で500 barsから1,000 barsの間で延性は低下する。

図-8は横軸に封圧、縦軸にヤング率をとったものである。頁岩、奇妙山凝灰岩は、封圧の増加に対してもほぼ 1×10^5 から 4×10^5 kg/cm²の値をとるが、玄武岩、閃緑岩は500 barsですでに著しい増加傾向をとり、玄武岩は1,000 barsで 9×10^5 kg/cm²の値をとる。一方、皆神山安山岩は常圧で 4×10^5 kg/cm²と特に小さい値をとっている。

図-9は横軸に封圧、縦軸に体積弾性率をとったものである。体積弾性率は実験機で、封圧と軸圧がバランスして静水圧状態になったときを確認して、そのときの縦ひずみを讀取り、横方向にも同様のひずみで圧縮されたと考えて、これを求めた。玄武岩が最も大きく 6×10^5 から 3×10^5

kg/cm²の値をとる。以下、頁岩、凝灰岩、閃緑岩、皆神山安山岩の順に小さい値をとり、皆神山安山岩は 5×10^4 kg/cm²の値をとっている。

3. 考 察

松代群発地震の震源深度は0から10 kmまでに分布し、ほとんどが2から6 kmの範囲に集中している。表-1によれば頁岩、玄武岩、閃緑岩の密度(湿潤)は2.64, 2.91, 2.68で平均2.74である。これをもって自荷重を考えると1 kmにつき約260 barsである。したがって、松代地震地帯の考慮すべき自荷重は最大2,600 bars、多発部では500ないし1,500 barsと考えられる。側方圧力が自荷重に等しいとすれば、封圧は500から1,500 barsを通常考えればよいということになる。この範囲では上記の実験結果によれば、頁岩、閃緑岩、玄武岩は4,000から10,000 kg/cm²以上の強度を有し、非常にもろい(brittleである)。松代地震に際して、地殻中の差応力がこのように大きくなったとは考えがたい。最近の研究によれば、岩石は応力ひずみ曲線のかなり初期の段階から微小割れ目を発生し、その際微小音を発する。松代群発地震の群小地震はおそらく、この微小破壊に相当するものではないかと考えられる。このような微小破壊の発生は岩盤応力の周期的な反復やたとえば熱水溶液圧のごとき間げき流体圧の周期的変動があればとくに起こりやすい状態になるであろう。

参 考 文 献

1. 長野県地学会編, 1962 : 20万分の1長野県地質図説明書。内外地図株式会社。
2. 星野一男, 1966 : 岩石変形の基礎理論と地質構造要素。地質学雑誌, 72巻, P. 105 - 116.
3. 小出 仁・星野一男, 1967: 三軸変形下の岩石中の微小割れ目の発達について(地震, 印刷中)