

32. 岩石の動的曲げ破壊に関する基礎検討

Basic Study of the Effect of Impact Bending on Fracturing of Rock

西金佑一郎（鉄道総合技術研究所）

Yuichiro Nishikane

1. はじめに

一般に岩石の破壊強さはひずみ速度に依存し、ひずみ速度が増大するほど破壊強さも増大することが知られている¹⁾。しかし、動的破壊時における岩石の破壊強さのひずみ速度依存性については研究例²⁾が比較的少なく、十分に解明されていない。これを解明することは、例えば動的外力に対する岩盤の耐力を評価する上で極めて重要である。

本発表では岩石試料を用いて静的曲げ試験および衝撃曲げ試験を実施し、岩石の破壊強さならびに破壊に要するエネルギーのひずみ速度依存性について検討した結果を報告する。

2. 試料

本研究で用いた岩石試料は、山梨県産の安山岩とインド産の斑れい岩である。両岩石の物理的および力学的性質を表-1に示す。

表-1 岩石試料の物理的および力学的性質

岩種	密度 (10^3 kg/m^3)	間隙率 (%)	一軸圧縮強さ (MPa)
安山岩	2.59	2.4	242
斑れい岩	3.02	0.3	351

試験に用いる供試体は、目視にて割れ目や風化部を含まない箇所から供試体を作成した。供試体は幅100mm×長さ300mm×厚さ30～40mmの直方体である。

3. 試験方法

安山岩1供試体、斑れい岩2供試体について、万能試験機を用いた静的曲げ試験を実施した。図-1に示すように、200mm間隔の支持台の上に供試体を設置し、供試体上面の中央に圧子を0.5mm/minの速度で下降させて載荷した。試験中は荷重と垂直変位を0.1sのサンプリング間隔で測定した。

安山岩4供試体、斑れい岩5供試体について、落重試験機を用いた衝撃曲げ試験を実施した。16.4kgの重錘（圧子を含む）を供試体から約1.1m、3.1m、5.1mの高さから自由落下させた。使用した治具および支持点間隔は静的曲げ試験と同じである（図-1）。試験時は荷重と垂直変位を 1×10^{-5} sのサンプリング間隔で測定した。

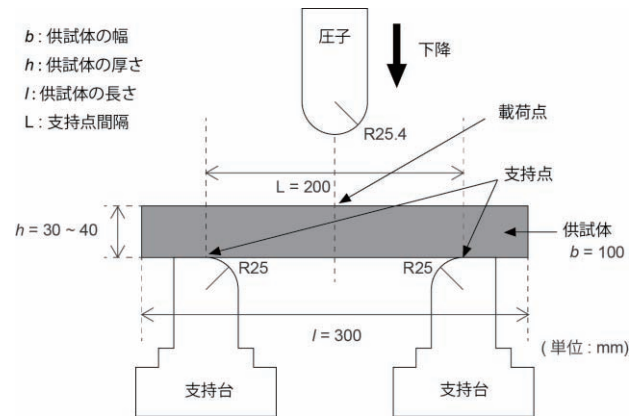


図-1 曲げ試験概略図

4. 試験結果とその整理

静的曲げ試験および衝撃曲げ試験の結果、図-2のような荷重-変位曲線を得た。試験によって得られた最大荷重およびその時の垂直変位および載荷時間を用い、以下の式によって曲げ強さとひずみ速度を算出した。

$$\sigma_b = \frac{3P_{max}L}{2bh^2} \quad \text{式-1}$$

$$\varepsilon_m = \frac{6h\delta_m}{L^2} \quad \text{式-2}$$

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\varepsilon_m}{t_m} \quad \text{式-3}$$

ここで、 σ_b ：曲げ強さ、 P_{max} ：最大荷重、 ε_m ：最大荷重時のひずみ、 δ_m ：最大荷重時の垂直変位、 $\dot{\varepsilon}$ ：最大荷重時までの平均ひずみ速度、 t_m ：最大荷重時までの載荷時間である。また、荷重-垂直変位曲線によって囲まれる面積を算出し、これを「供試体の破壊に要する吸収エネルギー（以降、破壊エネルギー）」とした。

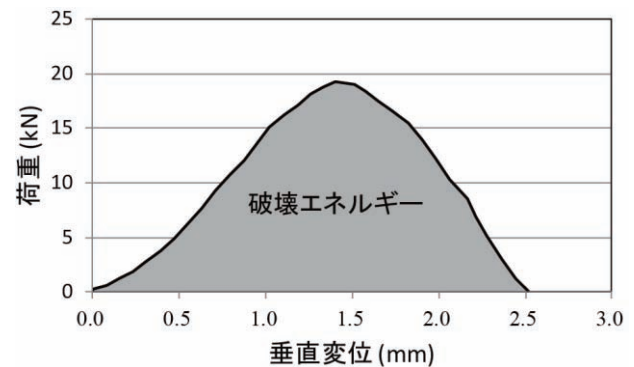


図-2 荷重-垂直変位曲線
(安山岩、衝撃曲げ試験、落下高さ3.1m)

静的曲げ試験のひずみ速度は約 $5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ であり, 衝撃曲げ試験のひずみ速度は $19 \sim 55 \text{s}^{-1}$ であった. 重錘の落下高さ (H) が高いほど, ひずみ速度が増大する (図-3). 曲げ強さは安山岩で $13.6 \sim 80.0 \text{MPa}$ の範囲にあり, 斑れい岩で $20.4 \sim 96.8 \text{MPa}$ の範囲にある. 斑れい岩の曲げ強さの方が安山岩の曲げ強さよりもやや大きい値を示した. 両岩石とも, 概ねひずみ速度の増大に伴って曲げ強さが増大する.

破壊エネルギーを破断面積で除した「単位面積当たりの破壊エネルギー」は, 安山岩では $0.45 \sim 11.8 \text{kJ/m}^2$ の値を示し, 斑れい岩では $0.25 \sim 15.1 \text{kJ/m}^2$ の値を示す (図-4). 両岩石とも, ひずみ速度の増大に伴って単位面積当たりの破壊エネルギーが増大する. 特にひずみ速度が約 20s^{-1} 以上の高速域では, 単位面積当たりの破壊エネルギーが急増する.

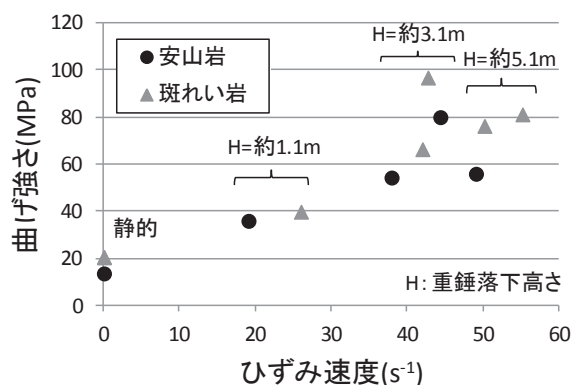


図-3 ひずみ速度と曲げ強さの関係

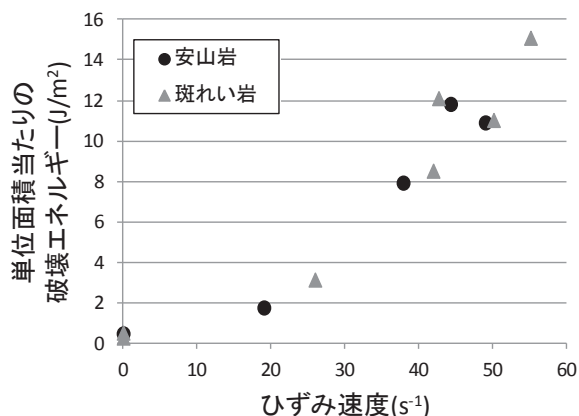


図-4 ひずみ速度と単位面積当たりの破壊エネルギーの関係

4. 考察

岩石の強さはひずみ速度の増大とともに増大するが, ひずみ速度が概ね 10^0s^{-1} 以上では岩石の強さの増加程度が特に顕著であることが報告されている³⁾ (図-5). Qian et al.²⁾ は, このような岩石の強さにおけるひずみ速度依存性の変化は, 破壊メカニズムの変化によるものと報告している. この理論に従えば, 低ひずみ速度域における岩石の静的曲げ強さはひずみ速度の対数に

比例することが示される²⁾. 本研究においては, 静的試験時のひずみ速度を一定に設定したために, 低ひずみ速度域における曲げ強さのひずみ速度依存性を確認することはできなかった.

岩石の動的強さとひずみ速度の関係については現在までに様々な意見が示されている^{2), 3)} が, 実験データの不足もあり十分に解明されていない. 本研究結果においては, 曲げ強さがひずみ速度に対して概ね線形依存している (図-3). しかし本研究のデータ量も十分ではなく, 岩石の動的強さとひずみ速度の関係を明らかにするにはさらに詳細な調査が必要である.

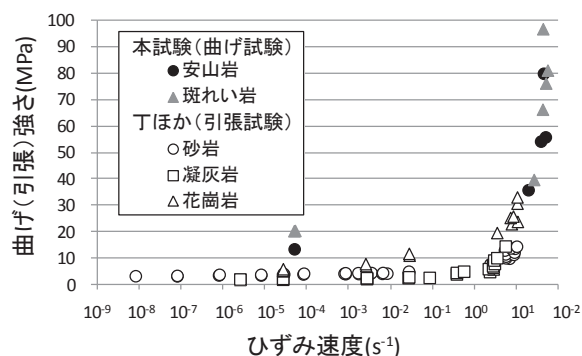


図-5 本研究および先行研究³⁾におけるひずみ速度と曲げ(引張)強さの関係

図-4 より, 岩石の破壊エネルギーはひずみ速度が約 19s^{-1} 以上の高速域でひずみ速度に線形依存することが示唆される. 低速域では岩石の破壊エネルギーがひずみ速度依存性を示すかどうかは確認できなかった. しかし, Qian ほか²⁾ が示したように低速域と高速域では破壊メカニズムが異なるとすると, 岩石の破壊エネルギーのひずみ速度依存性は低速域と高速域で異なると考えられる.

謝辞

本研究における曲げ試験は JFE テクノリサーチ(株)において実施して頂いた. また, 本研究で用いた安山岩の試料は甲州砕石(株)より提供して頂いた. 本研究に協力して下さった多くの方々に感謝します.

文献

- 1) 小林良二 (1969) : 高速荷重下における岩石の力学的性質(第1報), 日本鉱業会誌, Vol.91, pp.911-916.
- 2) Qian, Q.H., Qi, C.Z., Wang, M.Y. (2009) : Dynamic strength of rocks and physical nature of rock strength, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, Vol.1, pp.1-10.
- 3) 丁佑鎮, 緒方雄二, 和田有司, 瀬戸政宏, 勝山邦久, 小川輝繁 (2001) : 岩石の引張強さに及ぼすひずみ速度および水分飽和の影響, 土木学会論文集, No.673, pp.53-59.