

東北大学工学部資源工学科 正会員 小林良二
 ○東北大学工学部資源工学科大学院学生 大塚尚寛

圧縮荷重の増加につれて進行する岩石の変形・破壊について、次の4段階が考えられている。¹⁾すなわち、①岩石内部の空隙、先在クラックの閉じる段階、②線形弾性変形の段階、③破壊クラックが伝播し始める段階、④破壊クラックの生長を外力で制御できなくなる段階の4段階に分けられる。この観点からすれば、第3、第4段階で造岩鉱物粒子の転位または、微小破壊に伴、マロックノイズを生ずるものと考えられる。上記の岩石の変形・破壊の仮説は、圧縮応力-ひずみ曲線の Positive slope における現象について述べたものである。しかし地下岩盤では、上記曲線の破壊強度点以後の Negative slope に相当する応力状態でのマロックノイズの発生も考えられるので、本研究では、各種岩石試料について、剛性荷重試験を行ない、全圧縮破壊過程におけるマロックノイズについて調べた。

Fig. 1は、本研究に用いた剛性荷重試験機である。試験機の主要部の名称は、(A)上盤、(B)カンチレバーゲージ、(C)岩石試験片、(D)アルミ片、(E)振動ピックアップ、(F)ワイヤストレンゲージ受圧器、(G)アンビル、(H)剛性棒、(I)下盤である。一般に、剛性荷重試験機では、装置の剛性は $1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 以上であることが必要条件とされているが、本装置の剛性は、ほぼこの条件をみたしている。

また本研究では、マロックノイズを解析する装置として、次に述べる測定器を試作した。すなわち、試作マロックノイズ測定器は、前置増幅器、中心周波数24, 12, 6, 3, 1.5 KHzのバンドパスフィルタ、1.5 KHzのローパスフィルタ、エンベロープ、DA変換器などからなり、ゲート時間1秒、5秒、10秒間におけるマロックノイズのカウント数を精算して、ペンレコーダにヒストグラムとして描かせることができる。

試験にあたっては、まず、 $30 \text{ mm} \times 30 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$ の角柱に整形した岩石試験片の側面中央に、Fig. 1のようにアルミ片(D)を貼りつけ、アルミ片に振動ピックアップ(E)を取りつける。なお振動ピックアップは、BRÜEL & KJÆR社製の加速度型ピックアップで、その周波数範囲は1 Hz ~ 40 KHzである。岩石試験片を図のように設置し、材料試験機を用いて、矢印の方向に圧縮荷重を加えると、岩石試験片と剛性棒は同時に圧縮され、岩石試験片は剛性荷重を受けることになる。岩石試験片に加わる圧縮荷重を受圧器(F)、縦ひずみをカンチレバーゲージ(B)で測定すると同時に、岩石試験片が変形・破壊に伴、発生するマロックノイズをマロックノイズ測定器を用いて、各周波数帯別にカウント数をペンレコーダに記録する。

Fig. 2, Fig. 3は、それぞれ剛性圧縮荷重をうけた江持安山岩および来待砂岩試料の圧縮応力-ひずみ曲線、周波数帯別マロックノイズのカウント数の記録例を示したものである。なお、A図の圧縮応力-ひずみ曲線上のa, b, c, d, ……点とB図の記録紙上のa, b, c, d, ……点は、同一時間における測定値を示したものである。これらの図をみると、江持安山岩試料のマロックノイズは、圧縮応力-ひずみ曲線の Positive slope のb点付近より発生し、圧縮強度点付近からそのカウント数を増し、d点以後の Negative slope になると、さらにカウント数を増す傾向が見られる。また、来待砂岩試料のマロックノイズは、Positive slope

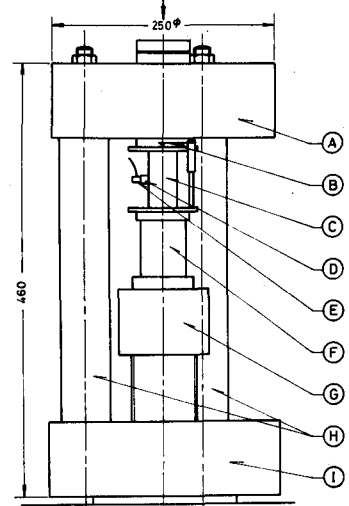


Fig. 1 Schematic diagram of stiff loading machine

においては殆んどみられないが、Negative slope においては、d 点付近でそのカウント数が増し、以後平均的に感知されている。

また Fig. 4, Fig. 5 は、江持安山岩および米待砂岩試料の各周波数帯別のロックノイズと応力比（圧縮応力/圧縮強度）との関係をヒストグラムで示したものである。これらの図より、江持安山岩試料のロックノイズは、Positive slope においては 24, 12 KHz の B. P. F. にキャッチされる高周波成分が多く、一方、Negative slope におけるものは 6 KHz 以下の B. P. F. にキャッチされる比較的

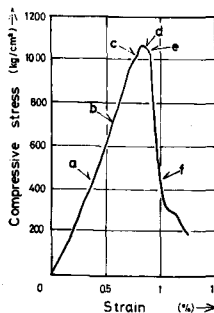


Fig. 2-A Complete stress-strain curve in compression for EMOCHI andesite

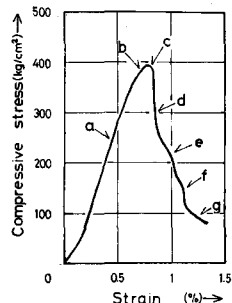


Fig. 3-A Complete stress-strain curve in compression for KIMACHI sandstone

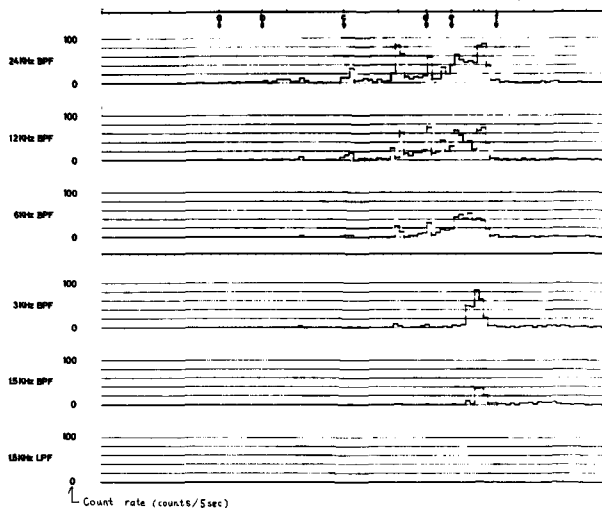


Fig. 2-B Example of count rate of rock noise passed each filter for EMOCHI andesite in stiff loading test

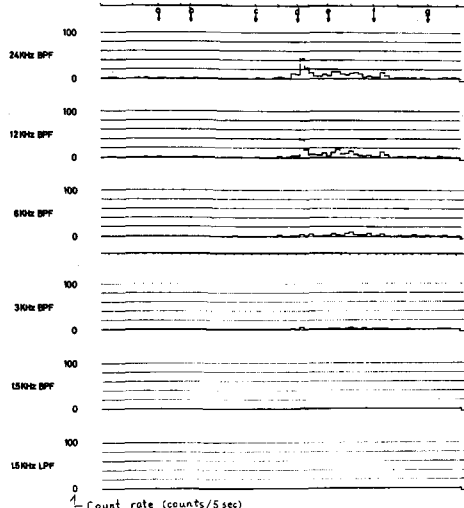


Fig. 3-B Example of count rate of rock noise passed each filter for KIMACHI sandstone in stiff loading test

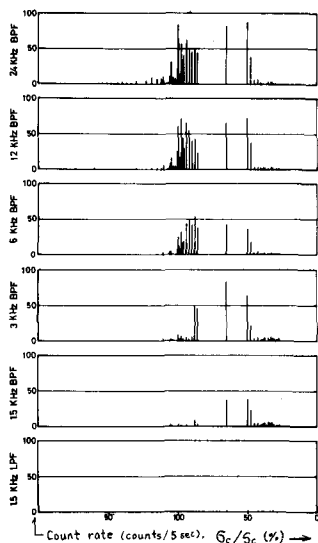


Fig. 4 Relationship between count rate of rock noise and compressive stress/compressive strength for EMOCHI andesite

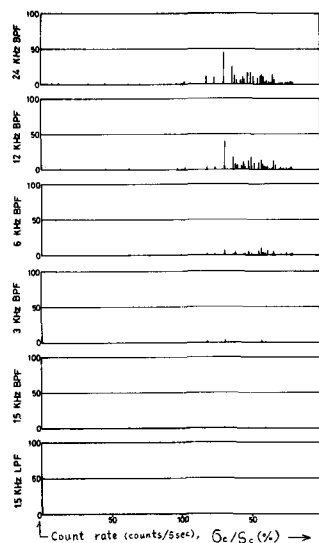


Fig. 5 Relationship between count rate of rock noise and compressive stress/compressive strength for KIMACHI sandstone

低周波成分が多くなることがわかる。また、来待砂岩試料のロックノイズはそのカウント数の最大値が *Negative slope* の応力比 70~75% 付近にみられる。そして、中心周波数 3 KHz と 1.5 KHz の *B.P.F.* にキャッチされるそれは、*Negative slope* で若干みられるだけであり、1.5 KHz の *L.P.F.* にキャッチされるそれは殆んどみとめられない。

Fig. 6, Fig. 7 は、江持安山岩および来待砂岩試料の各周波数帯別のロックノイズ積算カウント数、圧縮応力-ひずみ曲線を示したものである。これらの図より、江持安山岩試料のロックノイズ積算カウント数は、強度点付近から *Negative slope* における応力比 85% 付近まで急激に増加し、その後も漸次増加していることがわかる。

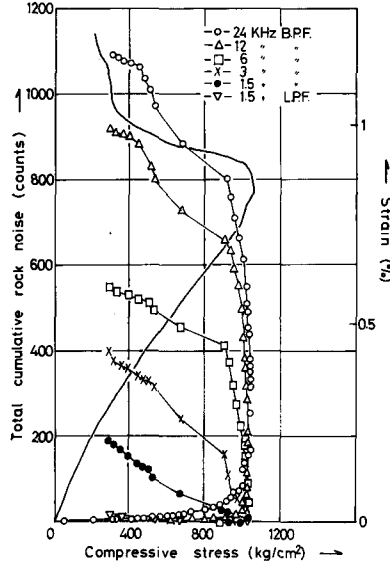


Fig. 6 Total cumulative rock noise and complete stress-strain curve for EMOCHI andesite

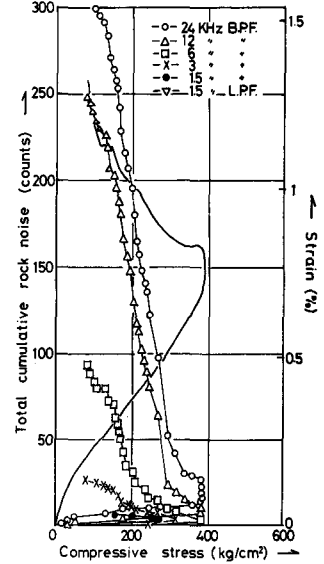


Fig. 7 Total cumulative rock noise and complete stress-strain curve for KIMACHI sandstone

一方、来待砂岩試料のロックノイズ積算カウント数は、*Negative slope* における応力比 70% 付近から平均的に増加していることがわかる。

これらの結果より、ロックノイズは、全般的にみると圧縮応力-ひずみ曲線の *Positive slope* よりも、*Negative slope* に集中的であることが明らかとなった。また、ある同一時間におけるロックノイズのカウント数は必ずしも高周波数帯の方が大きな値を示すとは限らないが、各周波数帯別のロックノイズの積算値は、中心周波数 24, 12, 6, 3, 1.5

KHz のバンドパスフィルタ、1.5 KHz のローパスフィルタと順次小さくなる。しかし、一方、現地岩盤内に発生するロックノイズについて考えると、岩盤内の節理・ひび割れなどの欠損

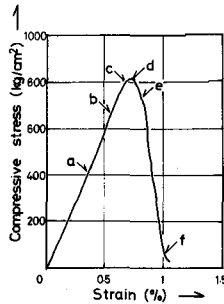


Fig. 8-A Complete stress-strain curve for EMOCHI andesite specimen made vertically a small hole to specimen axis

のために、ロックノイズの音源とピックアップとの距離が大きくなる程、高周波

成分の減衰が著しくなること、また従来より行なわれていた現場測定におけるロックノイズの周波数範囲が 10 KHz 以下であることを併せ考えると、従来の現場測定では強度点以後の破壊過程におけるロックノイズを計測し、しかも比較的低周波のロックノイズを計測している

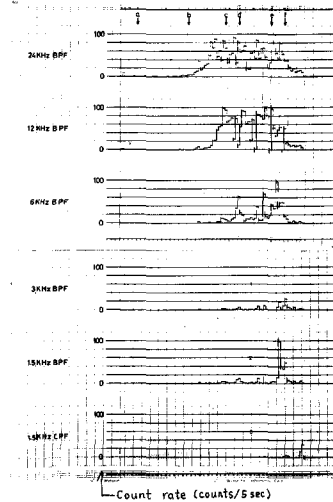


Fig. 8-B Example of count rate of rock noise passed each filter for EMOCHI andesite specimen made vertically a small hole to specimen axis

可能性がある。

次に、欠損ある岩石試料内に発生するロックノイズについて研究するため、江持安山岩試験片 (30 mm^φ × 60 mm) 側面中央部に、試験片軸と直角に 3 mm^φ の小孔を穿ち、前述の剛性荷重試験を行なった。Fig. 8 は、圧縮応カーヒズミ曲線、周波数帯別ロックノイズのカウント数の記録例を示したものである。図をみると、ロックノイズは、b 点付近より発生し、Positive slope から Negative slope にわたって、その発生頻度はまわめて高い。これより、弱面の多い現地岩盤内に発生するロックノイズよりその崩壊を予測することは如何に困難であるかがわかる。

以上は、岩石試料の圧縮破壊過程におけるロックノイズについて述べたが、本研究では岩石試料のフリープヒズミとロックノイズとの関係について調べた。

Fig. 9, Fig. 10 は、江持安山岩および米待砂岩試料の測定例で岩石試料の破壊強度の約 8割の圧縮能力のもとにおけるフリープヒズミと、ヒズミの進行に伴って発生するロックノイズとの関係を示したものである。図をみると、江持安山岩試料においては、矢印で

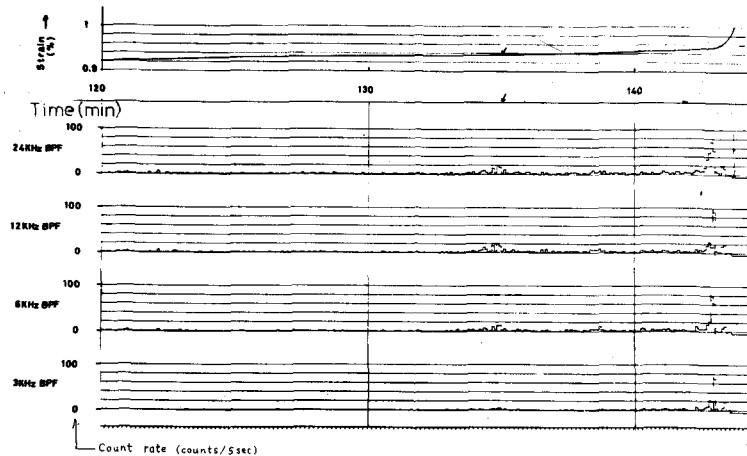


Fig. 9 Example of creep curve and count rate of rock noise passed each filter for EMOCHI andesite

示したクリープ曲線の反転箇所、すなわち、二次クリープから三次クリープに移行する箇所、ロックノイズのカウント数が増すが、次の段階で、このカウント数は次第に減少し、さらにフリープヒズミが増し、破壊間近になると再びカウント数が増す様子がみとめられる。米待砂岩試料においては二次クリープの段階ではロックノイズは殆んどみとめられず、破壊の直前のみみられるだけである。また本研究では、上記の Positive slope におけるクリープ試験の他に、Negative slope におけるクリープ試験を行ない、岩石試料の変形・破壊挙動とロックノイズ周波数成分との関係も調べたが、紙面の都合で割愛する。

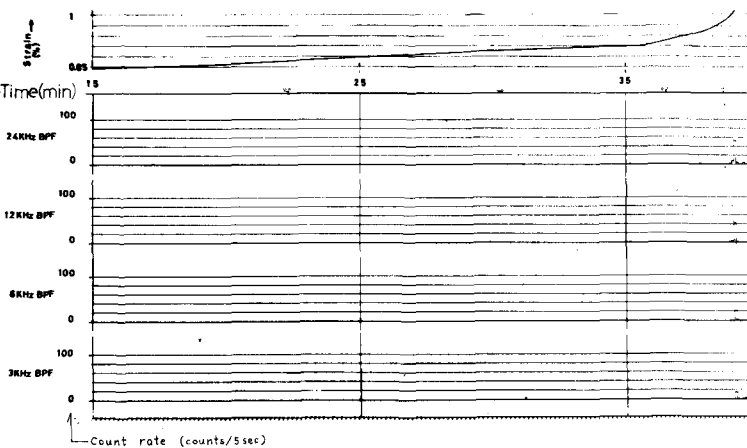


Fig. 10 Example of creep curve and count rate of rock noise passed each filter for KIMACHI sandstone

参考文献

- 1) Barla G. : Int. J. Rock Mech. Sci., 9, pp. 87~102 (1972)

On Rock Noise during Failure Process in Compression

by

Ryoji KOBAYASHI and Naohiro OTSUKA
(Faculty of Engineering, Tohoku University)

In order to study the relationship between the rock failure and the rock noise, the stiff loading tests were undertaken on two kinds of rocks, namely KIMACHI sandstone and EMOCHI andesite.

The main parts of a rock noise analyzer made in this investigation are consisted of five kinds of the band pass filters of 1.5 KHz~24 KHz, the low pass filter of 1.5 KHz, the envelopers and D-A converter. The electrical signals from an acceleration type pick-up, sticked to the rock specimen, are suitably amplified and recorded on the pen-recorder having a flat frequency response over the range 1 Hz~40 KHz. The rock noise is also recorded on the pen-recorder as by way of total number for a gate time of five seconds.

The results obtained in this investigation are summarized as follows:

- 1) The rock noise in the positive slope of the complete stress-strain curves of the intact EMOCHI andesite specimen occurs for the higher frequency which pass the band pass filters of the range of 12 KHz~24 KHz, whereas the rock noise in the negative slope of the curves occurs for the lower frequency which pass the band pass filters of the range of 1.5 KHz 6 KHz and with a low pass filter of 1.5 KHz. It has been reported in the field studies that a large proportion of the rock noise monitored by the pick up in the underground opening occurs for the lower frequency under 10KHz. From the above studies, it is seen that the rock noise monitored by the pick-up in the underground opening possibly occurs in rock mass in post failure.
- 2) The rock noise of EMOCHI andesite specimen, which is made vertically a small hole to the specimen axis, in compression occurs during the whole process from the positive and the negative slope in the complete stress-strain curves.
- 3) In creep test, the larger concentration of the rock noise of EMOCHI andesite specimen occurs when the secondary creep turns to the tertiary creep.