

# 不等分布荷重下における類岩材料の力学特性と

## AE 特性に関する研究 (その 2)

基礎地盤コンサルタンツ(株) 黄 はお

### 1. はじめに

近年、アコースティック・エミッション (AE) 技術は岩石力学問題の解決に広く応用されている。不等分布荷重下における岩石の力学特性と AE 特性を解明するために、既往 (その1) <sup>1)</sup> の研究によって初期鉛直応力が大きくなると岩石材料の強度ピークおよび破壊ひずみが小さくなる傾向が現れた。さらに最大発生数が少なく、最大発生数出現までが早くなることが分かった。本研究では、岩石の力学特性及び AE 及び岩石損傷関係を深く理解するために、AE 計測器及び採動応力測定システム<sup>1)</sup> を使用して一連のシミュレーション実験に対する測定を行った。その結果を用いて対象試料の力学特性と AE 特性を比較することにより、異なる試験条件の影響を分析し、岩石の力学特性と AE 特性の検討を行った。

### 2. 試験システム、試料及び試験方法

本研究で使用した採動応力測定システムは図-1に示すように、垂直方向及び水平方向に荷重を載荷する機構を備えて、初期の垂直応力を変化させることで、異なる深度での岩石 (炭鉱) の採掘状態をシミュレートすることができる。AE 計測器は図-2に示す。この装置は力学試験中に試料が損傷と破壊の過程で生じた AE を測定することができる。

試料は石膏と水を2:1の割合で混合し作製した (その1の研究試料と同じである)。試験試料は300mm×150mm×150mmの直方体で、これを図-3に示す A、B、C の3領域に分け、それぞれを縦方向応力 P1、P2、P3 に対応するブロック断面とした。

本試験は平均的な地盤の密度を2000kg/m<sup>3</sup>と仮定して、表-1に示す3種類の初期垂直応力条件を採掘深度 (200m、300m、400m) に対応する4、6、8MPa に設定して、実施した。試験中応力荷重率は0.067、0.200、0.333MPa/s とし、また、A 領域と B 領域の初期水平応力は4MPa、ひずみ速度は0.5 mm/min を設定した。載荷中に AE の連続観測を行った。

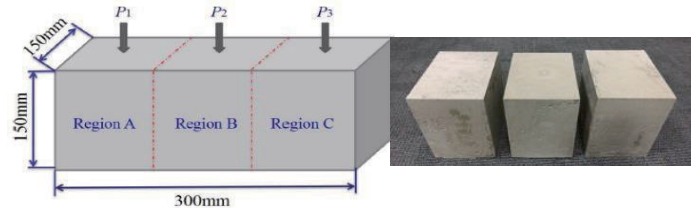


図-3 試料体

表-1 初期垂直応力条件

ケース	初期垂直応力 (MPa)	応力増加率 (MPa/s)
#1	4	0.067
#2	6	0.067
#3	8	0.067
#4	4	0.2
#5	6	0.2
#6	8	0.2
#7	4	0.333
#8	6	0.333
#9	8	0.333

### 3. 力学特性試験結果

その1研究で初期垂直応力は、岩石系材料のピーク強度とピークひずみの両方に影響を与えることが分かった。本研究で岩石の力学的特性をよりよく分析するために、応力増加率の影響を分析した。

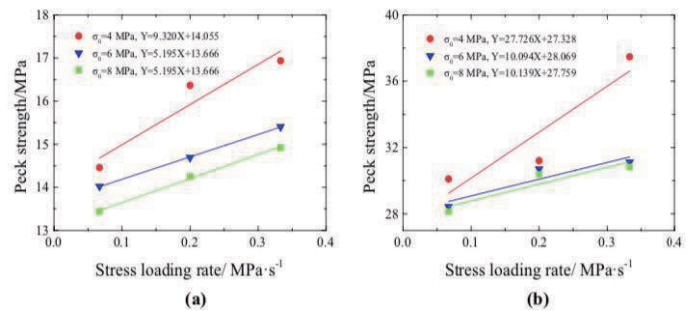


図-4 ピーク強度と応力増加率の関係

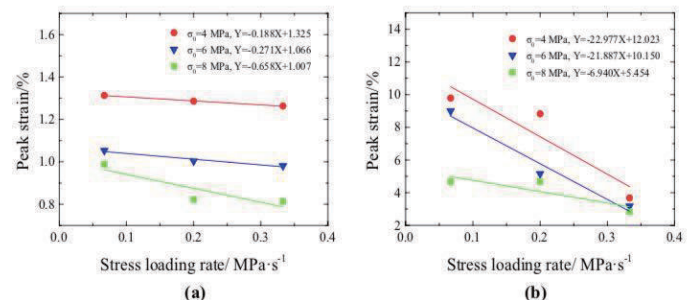


図-5 ピークひずみと応力増加率の関係



図-1 試験装置



図-2 AE 計測器

図-4に示すように、初期の垂直応力が一定の場合、領域 A と領域 B の両方で応力増加率の増加に伴ってピーク強度が増加する。岩石の損傷の程度と形態は、異なる応力増加率で異なる。応力増加率が増加すると、岩石にかかる応力がより強く作用するようになり、岩石への瞬間的な損傷が大きくなる。そして、応力増加率の変化が領域 A と B のピーク強度に与える影響は異なることがわかった。

図-5は、異なる応力増加率で領域 A と B のピークひずみがどのように変化するかを示す。初期垂直応力が一定の場合、領域 A、領域 B ともに、応力増加率の増加とともにピークひずみが減少する。その理由は、応力増加率が高いほど、岩石にかかる瞬間的な応力が大きくなり、岩石があまり変形せずに損傷するためである。同じ初期垂直応力条件下では、ピークひずみと応力荷重率の曲線の傾きが異なる。そして、応力増加率の変化は、領域 A と B のピークひずみに異なる影響を与えることが明らかになった。

#### 4. AE 特性に基づく岩石損傷分析

材料損傷を力学変数によって表現しようとする損傷理論は Kachanov によってはじめて提案された<sup>2)</sup>。その後 Rabotnov (1969) は “Damage variable” (損傷変数) を使用し、材料の内部劣化の状態を力学的に示した。その1研究では、AE のヒットパラメータが損傷変数 D の解析に使用できることを示した<sup>1)</sup>。表-2に A 領域と B 領域の AE の最大発生数とその発生時間を示す。この結果を用いて応力-時間-AE 発生数を図示する事によりその特徴的な傾向を確認することができた。

表-2 AE の最大ヒット数とその発生時間

ケース	最大ヒット数		発生時間/s	
	Region A	Region B	Region A	Region B
#1	3350	1939	153.6	569.6
#4	1411	1080	62.4	212.2
#7	853	579	40.8	117.6

表-2のデータから初期垂直応力と応力増加率が固定されている場合に、領域 A の最大 AE ヒット値は、領域 B の値の約1-2倍になったことが分かった。図-6、図-7、図-8に示すように、不等分布荷重下におけるケース1、ケース4、ケース7の領域 A と B の損傷変数で損傷の進化を表示されている。損傷変数に基づいて、領域 A は領域 B よりも早く損傷し、ピーク応力段階でのダメージ加速の度合いが大きくなった。また、初期垂直応力が一定で、応力増加率が増加すると、領域 B の損傷率は徐々に増加し、領域 A の損傷変動曲線の形状は大きく変化しなかったことが分かった。

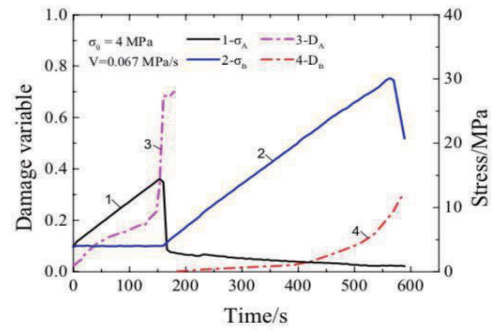


図-6 ケース1の応力-時間-ダメージ

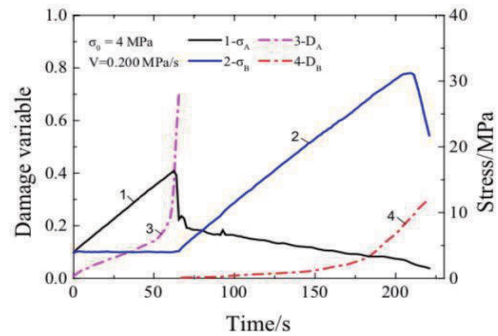


図-7 ケース4の応力-時間-ダメージ

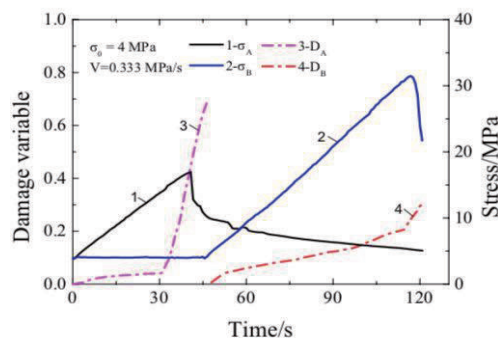


図-8 ケース7の応力-時間-ダメージ

#### 5. 結論

本研究から応力増加率の変化が岩石のピーク強度とピークひずみに影響を与えることが明らかになった。

初期垂直応力が一定の場合に、応力増加率が大きいほど、AE のヒット最大発生数が少なく、最大発生数出現までが早くなる。また、領域 B の損傷率は徐々に増加するが、領域 A の損傷率は大きく変化しない。このことにより、損傷状況の解析を行う際に、AE 発生数を一つの指標として用いる事ができる。しかしながら、現状では実際の岩石 (炭鉱) の採掘を行う場合に地下構造、応力環境などの影響も考慮しなければならない。

#### 《引用・参考文献》

- 1) 黄 はお:「不等分布荷重下における類岩材料の力学特性とAE 特性に関する研究」, 全地連技術フォーラム2019 論文集, 論文 No.128, 2019.9.
- 2) Kachanov, L.M., Izv. Akad. Nauk USSR, Otdgel. Tekh. Nauk, No. 8, 26 (1958).