

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

基礎地盤コンサルタンツ（株）○黄 はお

長崎大学 蔭 宇静

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。しかしながら、既往研究においては均等荷重における検討が多く不等分布荷重下における岩石の力学特性と AE 特性に関する検討を行ったケースは少ない。そこで本論では不等分布荷重下における岩石の AE メカニズムを解明するために、AE 計測器及び採動応力測定システム¹⁾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、異なる初期垂直応力の影響を分析し、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いる。また、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。

本試験で用いる試料は石膏と水を 2 : 1 の割合で混合し作製した。これは石炭岩（中国揚州炭鉱）試料を模擬しており、その一軸圧縮強度は図-3 で示すように類似した値を示している。

試験試料は 300mm×150mm×150mm の直方体で、これを図-4 に示す A, B, C の 3 領域に分け、それぞれを縦方向応力 P_1 , P_2 , P_3 に対応するブロック断面とした。

試験は表-1 に示すように、2 種類の初期垂直応力条件にて実施した。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。試験中応力増加分は両条件共に 0.067Mpa/s とし、載荷中に AE の連続観測を行った。

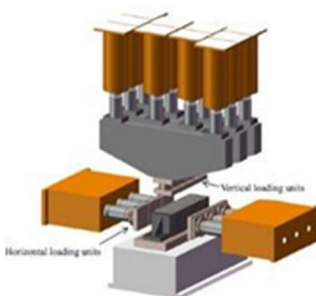


図-1 試験システム



図-2 AE 放射器

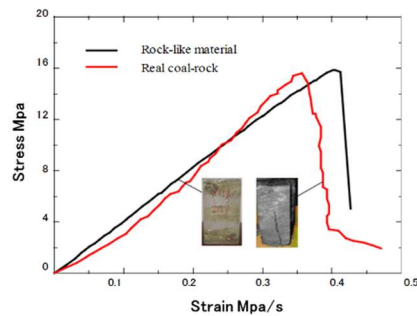


図-3 一軸圧縮応力

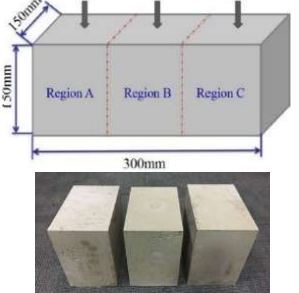


図-4 試料

表-1 試験ケース一覧

Analytical cases	Initial Vertical stress (Mpa)	Stress loading rate (Mpa/s)
case1	4	0.067
case2	6	

3. 試験結果

(1) 力学特性

岩石試料の力学的特性を解明するために、本研究は不等分布荷重下非均一載荷試験結果を比較する目的で、case1 の条件と同様に等圧で応力増加速度一定の二軸圧縮試験を行った。A 領域と C 領域は同様の応力条件下に置かれているため、ここでは A 領域の試験数値を代表値として示している。表-2 と図-5(case1 と case2)に示すように非均一載荷試験の試料は A 領域と B 領域の強度のピークと破壊ひずみが従来の二軸圧縮試験より高い値を示す。また、B 領域の破壊ひずみ遅延性は、外部障害ブロック（A, C）の制約によって、A 領域よりも大きくなる事が明らかになった。初期の垂直応力が大きくなると材料の強度ピークが小さくなると分かった。さらに初期の垂直応力に従って、破壊ひずみも小さくなる事が示された。

表-2 強度ピークと破壊ひずみ

Analytical cases	Peak intensity (Mpa)		Peak strain(%)	
	Region A	Region B	Region A	Region B
case1	14.457	30.101	1.313	9.786
case2	14.022	28.435	1.053	8.993

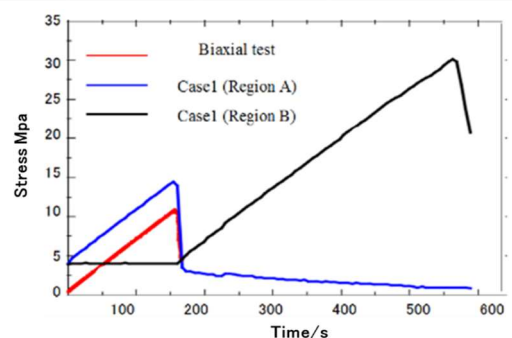


図-5 応力-時間曲線(case1)

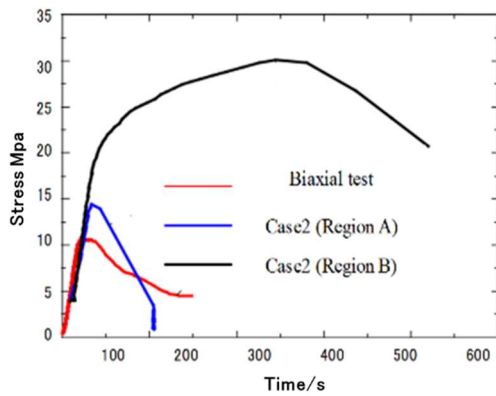


図-5 応力-時間曲線(case2)

(2) AE 特性

表-3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-3及び図-6(case1と case2)で示すように初期垂直応力が大きいほど、最大発生数が少なく、最大発生数出現までの時間が早くなることが分かった。

表-3 AE 最大発生数とその発生時間

Analytical cases	Maxium number of hits		Occurrence time/s	
	Region A	Region B	Region A	Region B
case1	3350	1939	153.6	569.6
case2	2191	1171	118.4	460.8

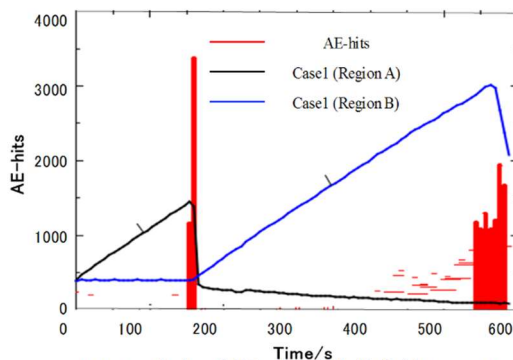


図-6 応力-時間-AE 発生数曲線(case1)

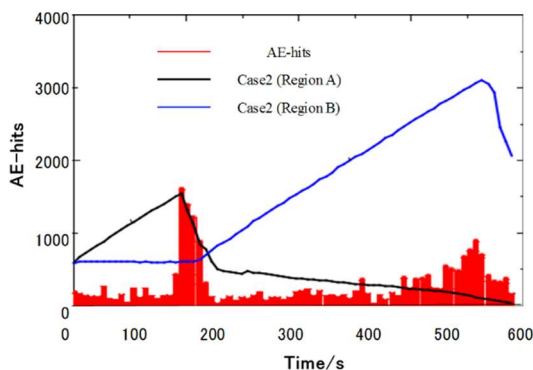


図-6 応力-時間-AE 発生数曲線(case2)

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 によつてはじめて提案された²⁾。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³⁾。本研

究で図-7(case1 と case2)に示すように応力-時間-損傷の関係を図示した。これは Case1 と Case2 の A 領域と B 領域の損傷状況である。この結果をみると応力-時間-損傷曲線によって、岩石損傷分析することができた。図-6と図-7 の結果により、AE 発生数は岩石の損傷状況を解析する為の指標となることが分かった。

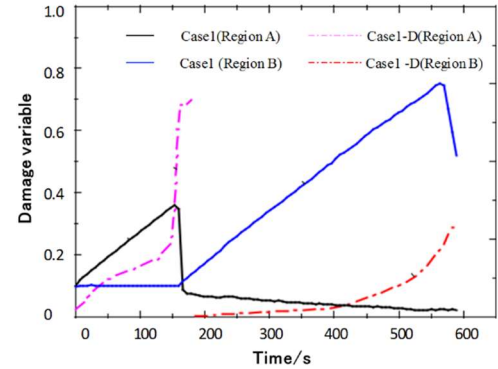


図-7 応力-時間-損傷曲線(case1)

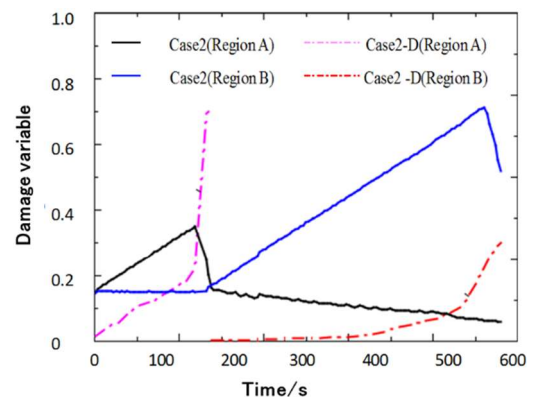


図-7 応力-時間-損傷曲線(case2)

5. 結論

岩石の非均一載荷試験の強度ピークと破壊ひずみは従来の二軸圧縮試験より高い。また、初期垂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、現状では実際の試料の採掘を行う場合に構造、サイズ、モニタリング方法、応力環境などの影響も考慮しなければならないため、岩の損傷の程度は AE 発生数だけで判断するのが困難である。

《引用・参考文献》

- 1) Wang X, Wen ZJ, Jiang YJ (2016) Time-space effect of stress field and damage evolution law of compressed coal-rock. Geotech Geol Eng 34(6):1933-1940
- 2) Kachanov, L. M., Izv. Akad. Nauk USSR, Otdgel. Tekh. Nauk, No. 8, 26 (1958).
- 3) Rabotnov YN (1969) Creep rupture. Applied mechanics. Springer,