

III-19

A E法を用いた空洞周辺の二次応力推定に関する実験検討

日本大学工学部 ○渡辺英彦

日本大学工学部 田野久貴

1. はじめに

自然状態の岩盤に作用している地圧を初期応力あるいは一次応力と呼んでいる。この初期応力の推定法の一つにAE(acoustic emission)のカイザー効果を利用した方法がある。この方法は原位置から採取した岩石コアに一軸圧縮を行い、この時のAE計測から初期応力を推定するものである。一方、空洞が開削された岩盤やダム基礎岩盤では、構造物を建設するための掘削や載荷が行われ、そのために初期応力状態とは別の応力状態（二次応力）に移行する。この二次応力の状態は初期応力状態、岩盤特性、空洞の形状などにより異なり、大きな応力集中が生じる場合には亀裂が生じたり破壊や崩落する場合もある。本研究では、一軸圧縮によるAE法を用いて開削された岩盤空洞周辺の二次応力推定に関する実験を行った。さらに、三軸圧縮を用いたAE法による一次応力と二次応力の推定に関して実験検討を行った。

2. 実験方法

（1）岩石試料：宇都宮市大谷町産の緑色凝灰岩（大谷石）を用いた。試料の形状は直径5cm、長さ10cmの円柱形である。整形後、24時間110℃で乾燥させた後、室温状態にて実験を行った。

（2）先行載荷：先行載荷は原位置での応力状態を模して三軸圧縮を行った。空洞開削前の応力状態を模して一次応力は拘束圧を載荷した後に軸差応力を載荷した。この状態をAEが発生しなくなるまでの30分間保持した。この後、空洞開削による応力状態を模して拘束圧を除荷しながら軸応力を増加させる載荷を行い、拘束圧0での状態を二次応力とした。この載荷過程を先行載荷とし、載荷経路を図1に実線で示す。

（3）再載荷：再載荷は一軸圧縮と三軸圧縮の二通りについて行った。一軸圧縮は通常行われているAE法での載荷方法であり、先行載荷を除荷した後にひずみ速度0.05%/minとして行った。三軸圧縮による再載荷では、まず拘束圧を毎分5kgf/cm²で載荷し、この時のAE計測より先行載荷時の一次応力の拘束圧を推定し、引き続き、AEのリアルタイムで推定された大きさの拘束圧で軸応力の載荷を行い、AEの急増点と先行載荷時の軸応力との対応について検討を行った。再載荷の応力経路を図1に点線で示す。

（4）AE計測：AEは上部の加圧盤内に設置したセンサーにより計測を行った。

センサーの共振周波数は140kHzであり、システムの応答周波数は100～500kHzとした。

AEセンサーからの出力は、プリアンプで40dB増幅しメインアンプでさらに20dB増幅している。

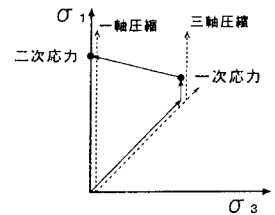


図1 載荷経路

3. 実験結果と考察

（1）一軸圧縮の再載荷：一軸圧縮による再載荷時の応力、AEイベントカウントを図2に示す。AEの急増点はAE発生率増分（時間間隔Δtに発生したAEイベントカウントつまりAE発生率の増分）のピーク点から求めた。AE発生率増分の変化を図3に示す。時間間隔Δtは4, 8, 12, 20secとしている。540sec付近にピーク点（▼）があり、その点を急増点とした。このようにして求めた推定応力は92.1kgf/cm²であり、先行載荷時の二次応力92.2kgf/cm²に対応している。また、このピーク直前にある第2のピーク（500sec付近の▽）に着目するとその時の軸応力は86.0kgf/cm²であり先行載荷時の一次応力（軸応力）91.3kgf/cm²に対応していると考えられる。

（2）三軸圧縮の再載荷：三軸圧縮による再載荷時のカイザー効果により、一つの供試体から複数の先行応力が推定可能であることから、一次応力と二次応力の推定を試みた。はじめに拘束圧の再載荷を行い、先行拘束圧（一次応力の拘束圧）の推定を行った。拘束圧と発生したAEイベントカウントを図4に示す。また、AE発生

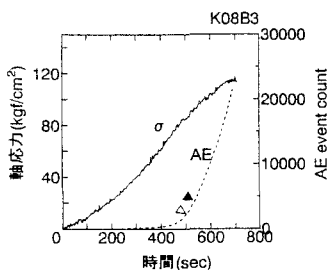


図2 一軸圧縮再載荷時の応力と AE

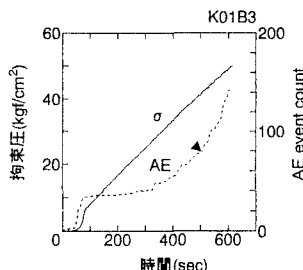


図4 拘束圧再載荷時の応力と AE

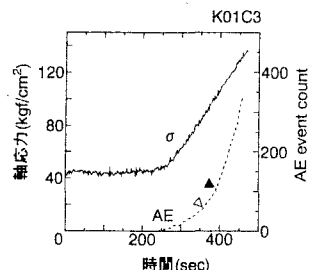


図6 三軸圧縮再載荷時の応力と AE

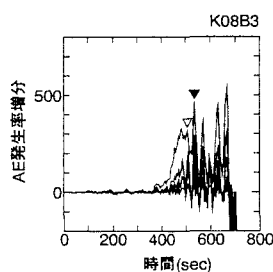


図3 一軸圧縮再載荷時の AE 発生率増分

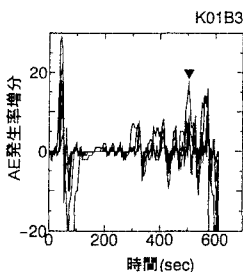


図5 拘束圧再載荷時の AE 発生率増分

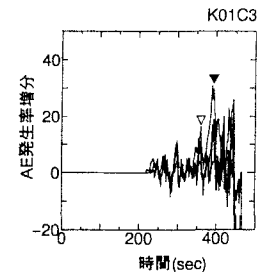


図7 三軸圧縮再載荷時の AE 発生率増分

率増分の変化を図5に示す。AE発生率増分のピークに対応する点は図中の▼印の点であり、 41.7 kgf/cm^2 と推定された。この場合の先行拘束圧は 41.3 kgf/cm^2 であり、精度よく先行拘束圧を推定している。軸差応力の再載荷はリアルタイムでおおまかに推定した拘束圧のもとで行った。結果を図6に示す。载荷盤と载荷ピストンの隙間を埋めるため経過時間220sec付近から軸差応力が载荷されている。軸差応力の载荷にしたがってAEが発生、その後、急増している。図7に示すAE発生率増分のピーク点(▼)から求めた推定応力は 105.2 kgf/cm^2 であり、この時の先行载荷の最大軸応力つまり二次応力は 95.3 kgf/cm^2 であった。また、このピークの直前にある第2のピーク(360sec付近の▽)に着目すると、その時の軸応力は 87.6 kgf/cm^2 であり、一次応力での軸応力 87.5 kgf/cm^2 に対応している。このように一軸、三軸圧縮の再載荷においては先行载荷の一次応力と二次応力の二カ所でAEは急増する傾向を示したが、これはクラック形成とAE発生に関係していると考えられる。载荷によりクラックが発生し、それに伴いAEが発生するが、AEが発生しなくなるまでの十分なクラック形成には長時間の载荷または繰り返し载荷が必要と考えられ、このような十分なクラック形成の先行载荷においてはカイザー効果は明瞭に観察される¹⁾。本実験における先行载荷の一次応力は一定時間载荷しておりほぼ十分なクラック形成となっていると考えられるが、二次応力については短時間の载荷で設定した二次応力に達した直後に除荷しており一次応力に比べ十分なクラック形成とはなっていないと考えられる。このような先行载荷に対して再載荷を行った場合には、まず、十分なクラック形成となった一次応力レベルまではAEは発生せず、それを越える応力レベルでは十分なクラック形成となっていないためAEが発生する。さらに二次応力を越える領域では未载荷領域であるため新たなクラックが多数発生しAEは急増することとなり、再載荷過程において一次応力と二次応力の2カ所でAEは発生急増すると考えられる。本実験では僅かな応力分布の変化や拘束圧の影響等により载荷初期からAEが発生しているが、一次応力と二次応力に対応する二点でAEが急増する傾向を示した。以上のことから、三軸圧縮の再載荷を行うことにより、一つの供試体から一次応力の拘束圧と軸応力、二次応力の軸応力が推定が可能であると考えられる。

〔参考文献〕(1) 瀬戸政宏, 歌川 学, 勝山邦久: 資源素材学会誌, 第108巻, 第10号, pp. 719-724