

Ⅲ-15

AE法によるカッパドキア地方（トルコ）の地圧推定の試み

日本大学工学部 正員 ○渡辺 英彦

日本大学工学部 正員 田野 久貴

東海大学海洋学部 正員 オメール・アイダシ

1. はじめに

地下空間は生活や交通の場としてだけでなく地下発電所や石油の地下備蓄施設にも利用され、近年では放射性廃棄物の地下保管、地下シフトホールなどへの利用計画も実現しつつある。地下空間の利用は古来から行われており、カッパドキア地方の地下都市もその一つである。カッパドキア地方とはトルコのアナトリア地帯の一部の名称であり、火山から噴出した軽質な軽石状の火山性凝灰岩によって被覆されている。この火山性凝灰岩の掘削しやすさや断熱性により数千人の人々が生活したとされるカイマクルやデリンクユの地下都市や多くの岩窟教会、洞窟などが造られた。現在では食料などの貯蔵や宿泊施設として掘削し利用されている。この地方の岩石は風化により徐々に劣化し崩壊が進んでいる。この歴史的遺産を守るためにこの地方の岩石に関するいろいろな実験が行われている¹⁾。本研究では、このカッパドキア地方から三次元的に6方向から採取されたコア試料を用いてAE法による地圧推定を試みた結果について報告する。

2. 実験方法

カッパドキア地方のAVANOS（図1）にある地下陶器工場で新しく構築した地下展示室よりブロック状の試料を採取した。この試料から図2に示すように三次元的に6方向よりコア試料（ $\phi 4.2 \times h 10.0 \text{ cm}$ ）を採取した。応力推定のための载荷は荷重100kgfまでの一軸圧縮繰り返し载荷とし、ひずみ速度を0.025%/minとして行った。繰り返し回数は3回とした。この载荷過程においてAEの計測を行い、AE法による応力推定を行った。その後、X、Y、Z方向の供試体については、ひずみ速度を0.1%/minとしてピーク強度までの一軸圧縮試験を行い、強度の異方性について検討した。

AE計測は共振周波数140kHzのセンサーを上加圧盤内に設置し計測を行った。計測された信号はリアンプで40dB増幅した後、メインアンプでさらに20dB増幅した。計測は2chで行い、ディスプレイをそれぞれ40、60mVの2通りとした。システムの応答周波数は100～500kHzである。

3. 物理試験結果

一軸圧縮試験終了後の試験片の一部を用いて物理試験を行った結果を表1に示す。浸水により一部崩壊するものもあった。比較のために大谷凝灰岩の結果も同表に示す。大谷凝灰岩に比べ、吸水率と有効間隙率は大きく、各密度は小さな値を示している。

4. 地圧推定結果

X軸方向の供試体における応力とAEの関係を図3に示す。応力の増大とともにAEも発生している。ディスプレイを40、60

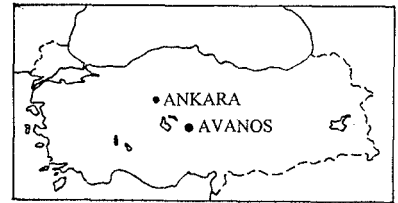


図1 試料採取位置

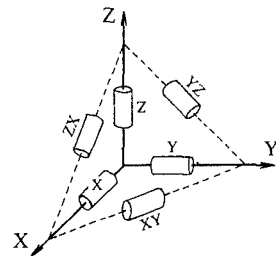


図2 コア試料採取方向

表1 物理試験結果

採取地点	AVANOS	大谷
吸水率 (%)	38.8	30.7
含水比 (%)	2.9	5.9
有効間隙率 (%)	44.5	40.8
湿潤密度 (g/cm ³)	1.59	1.74
自然密度 (g/cm ³)	1.18	1.41
乾燥密度 (g/cm ³)	1.15	1.33

mVの二種類について計測を行ったが、どちらのAE計測結果にも明瞭な急増点は見られなかった。コンクリートを用いたAE法に関する実験では、先行応力の大きさがピーク強度の約20～80%の範囲において良好な推定結果となり、それ以外の区間においては推定誤差は大きい傾向を示した。コア試料のピーク強度は約30～60kgf/cm²であり、予想される地圧（コア採取位置の被り圧：約20mとすると土被り圧は約2.4～3.1kgf/cm²）は強度に対して10%以下であることから明瞭なカイザー効果は期待できない。そこで時間間隔Δtに発生するAEイベント（AE発生率）の増分をAE発生率増分とし、このAE発生率増分のピーク点より応力推定を行った。Δt=4, 8, 20, 40secとして求めた結果を図4に示す。320sec付近にピークがあり、その点の応力からX方向の応力をσ_x=1.5kgf/cm²と推定した。他の方向のコア試料についても同様にして推定を行った。結果を表2に示す。これら6方向の推定応力より三次元的な主応力を推定した結果も表2に示す。主応力方向のαはXY平面においてX軸からY軸方向への角度であり、βはXY平面からZ軸方向への角度である。最大主応力は3.5、中間主応力は2.4、最小主応力は0.9kgf/cm²と推定された。土被りを20mとした場合の土被り圧は2.4～3.1kgf/cm²であり、推定された結果はほぼ妥当な結果と思われる。

5. 強度の異方性

応力推定の載荷後、X, Y, Z方向の供試体を用いて一軸圧縮試験を行った。結果を図5に示す。各方向の弾性係数は約1.0×10⁴kgf/cm²であり方向による差はないようであるが、ピーク強度はそれぞれσ_x=41, σ_y=34, σ_z=61kgf/cm²となった。強度に異方性が見られるが各方向とも一本ずつの結果であり、今後、データを増やして詳細な検討を行う必要がある。

表2 応力推定結果

方向	推定応力	主応力とその方向		
X	1.5	α β		
Y	1.8			
Z	3.4	σ ₁ =3.5	104.0	78.5
XY	2.4	σ ₂ =2.4	130.0	-4.2
YZ	2.3	σ ₃ =0.9	218.9	-3.7
ZX	2.4	(kgf/cm ²)		

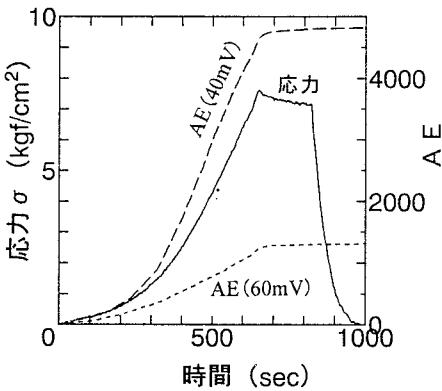


図3 X方向コア試料のAE発生傾向

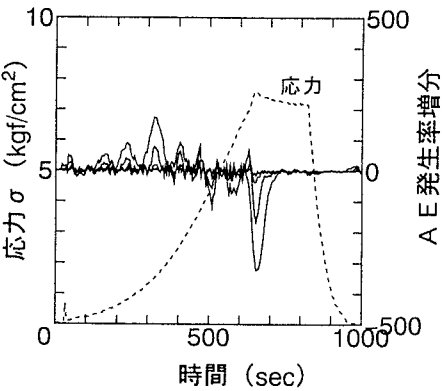


図4 X方向コア試料のAE発生率増分

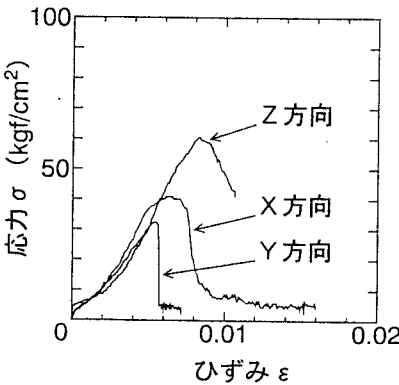


図5 X, Y, Z方向の一軸圧縮試験結果

参考文献 1) 嶋田竜紀, 米田 崇: カップドキアの地下都市と過去から現在の地下空間に関する研究, 東海大学海洋学部海洋土木工学科卒業研究論文, 1988. 3