

清水建設(株)研究所

公害資源研究所資源第4部

〃

正員 木下 直人

厨川 道雄

松永 烈

1. はじめに

低温液化燃料の地下岩盤内備蓄の実用化にあたって検討すべき重要な問題として熱応力に対する構造的な安定性および気密・液密性の保持に関する問題があるが、今までのところ研究例は非常に少なく、未解明の点が多い。そこでこの問題に関する基礎的研究として、花崗岩を用いて低温における岩石の熱応力による破壊実験を行ってきたが、^{1) 2)}今回は堅岩およびき裂岩についての実験とFEMによる熱応力解析の対比を行なった結果について報告する。

2. 実験概要

堅岩とき裂岩との対比を行なうために用いた供試体は一辺が30 cmの立方体で、中心部に直径3.8 cmの円孔(冷却孔)を有するものである。き裂岩としては稲田花崗岩を電気炉内で500℃に加熱処理したものをを用いたが、有効間隙率は約2%となっている。供試体の含水状態は自然乾燥状態とした。実験方法については既報¹⁾で述べた方法とほぼ同様であるが、供試体の外壁面の温度を一定(20℃)に保つためにバンドヒーターの代わりに循環水を用いた。冷却速度は1時間当たり約20℃であるが、温度低下とともにやゝ冷却速度を速めながら-180℃まで冷却を行なった。

また、堅岩についてのみ3回繰り返し実験を行なった。

3. 実験結果

堅岩について3回繰り返し実験を行なった場合のAE計測結果を図-1に示す。3回目の実験におけるAE発生率は図示していないが、2回目と類似の結果が得られている。AEは図中に矢印で示したように各回とも孔壁面の温度が約-30℃になると発生を開始する。そして温度の低下とともにAE発生率は増加する。AE累積数は1回目にくらべて2回目、3回目の方が大幅に増加している。しかし、実験後円孔周辺を肉眼で観察しても熱応力によって生じたと考えられるき裂は見つからなかった。また、圧裂引張強度や弾性波速度も実験前と比較して変化は認められなかった。

次に、き裂岩についてのAE計測結果を図-2に示す。堅岩よりもかなり低い温度(約-55℃)になってからAEは発生し始め、AE累積数も堅岩より大幅に少ない。実験後の円孔周辺の観察では、堅岩同様肉眼で確認できるような規模のき裂は見つからなかった。

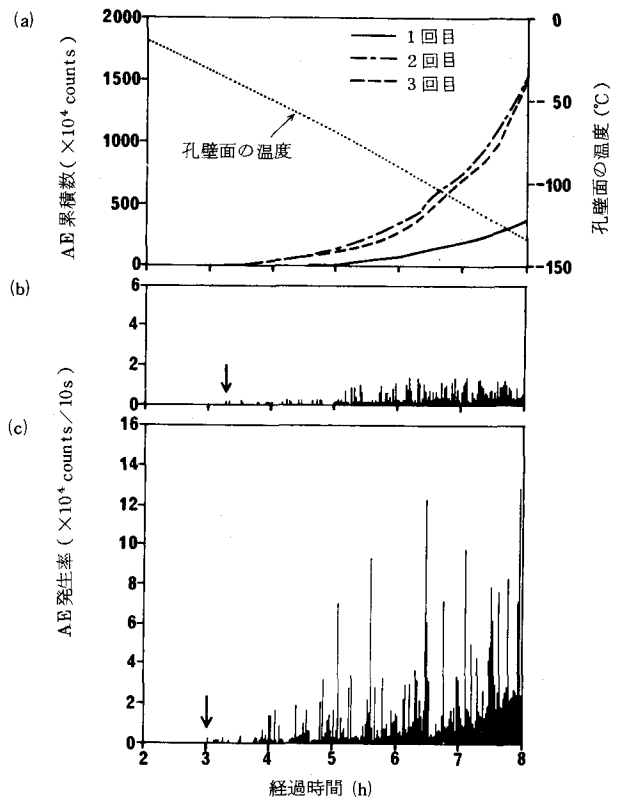


図-1 堅岩のAE (a)AE累積数 (b)1回目の実験におけるAE発生率 (c)2回目の実験におけるAE発生率

4. AEの発生と熱応力

堅岩、き裂岩について円孔を徐々に冷却した場合の供試体内の熱応力および破壊領域をFEMによって求め、実験結果との対比を行なった。温度分布については供試体の外壁面と孔壁面の温度を与え、定常状態を仮定して計算した。この温度分布に基づいて供試体内に生じる熱応力および破壊領域を計算するためには弾性係数、ポアソン比、線膨張係数および引張強度の値が必要であるが、これらの大部分については既に測定を実施しているので、その値を用いることにした。ただし、線膨張係数についてはまだ充分な測定を行っていないので、堅岩、き裂岩とも $4.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ とし、温度依存性はないものとした。

図-3に示したように、堅岩では孔壁面の温度が -41°C 、き裂岩では -57°C になると孔壁面における円周方向の熱応力が引張強度に等しくなる。実際の供試体の円孔周辺では温度こう配が定常状態よりも大きくなっており、熱応力は計算値より大きい点を考慮すると、堅岩、き裂岩とも孔壁面における熱応力が引張強度に等しくなる時間はほぼAEの発生開始時間と対応している。

FEM解析による破壊領域は時間とともに拡大し、孔壁面の温度が -180°C になったとき堅岩、き裂岩とも孔壁面から1.5 cm以上に及んでいる。また孔壁面における熱応力は引張強度の約3倍に達している。この解析結果は肉眼による観察結果とは明らかに一致しない。これは多数の微小破壊の発生により応力が解放され、巨視的な破壊にまで至らなかったためであると考えられるが、同様な現象は水圧破砕等のように円孔に内圧が作用する場合にも指摘されている³⁾ので、今後破壊力学的手法の導入をも含めて更に検討する必要がある。

5. おわりに

今回の実験から、乾燥状態では堅岩よりもむしろき裂岩の方が熱応力による破壊はおこりにくいという結果が得られ、FEMによる解析でもそれが裏付けられた。しかし、わずか1種類のき裂岩についての結果にすぎないので、今後更に実験、検討を行なう必要がある。また、実用上は含水飽和状態における挙動の方が重要であり、現在実験、解析を行なっている。

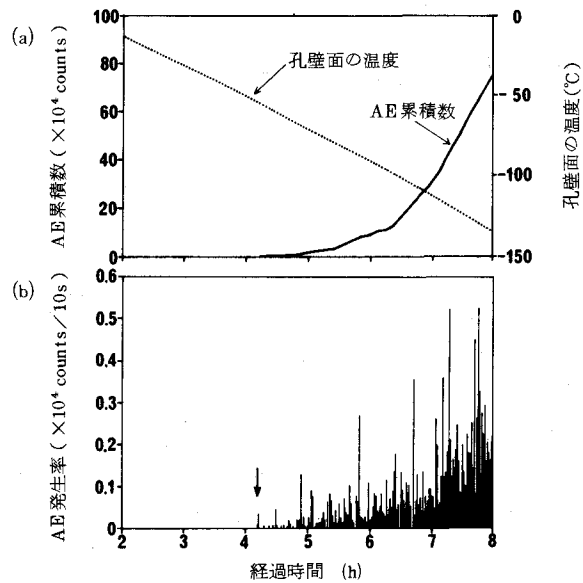


図-2 き裂岩のAE (a)AE累積数 (b)AE発生率

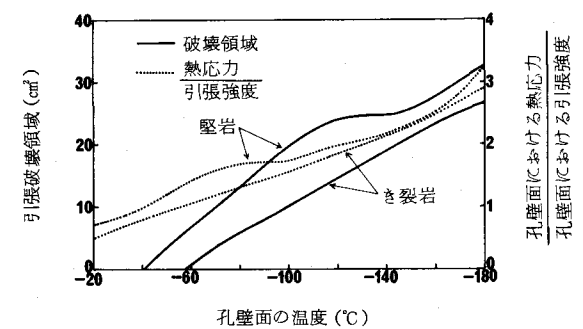


図-3 FEM解析による熱応力および破壊領域

参考文献

- 1) 厨川道雄他：昭和54年度全国地下資源関係学会合同秋季大会分科研究会資料(1979)
- 2) M. Kuriyagawa他：Rock Store 80(1980)
- 3) 西松裕一他：日本鉱業会誌, 93巻1074号(1977)