

III-287 高温下における花崗岩ブロックの熱応力による破壊挙動の解析

清水建設㈱ 正会員 木下直人
 清水建設㈱ 正会員 若林成樹
 山口大学工学部 正会員 石田 毅

1. はじめに

地下空間利用の多様化に伴い、高温下における岩盤の挙動に関する研究が重要になっている。筆者らは、1辺が300mmの花崗岩ブロックの中心をヒーターで加熱した際の破壊挙動を観測する実験を行った。同時に、高温下において、室内岩石試験を実施し、それによって得られた物性値を用いた熱伝導・応力解析を行い、実験結果との対比・検討を行った。花崗岩ブロックの熱破壊実験については既に報告している¹⁾ので、ここでは高温下における室内岩石試験結果および熱応力解析の結果について報告する。

2. 高温下における室内岩石試験

高温下における岩石の熱応力による破壊挙動に影響を及ぼすと考えられる種々の物性値を把握するために室内岩石試験を実施した。試験に用いた試料は熱破壊実験で用いた試料と同じであり、茨城県産の稲田花崗岩である。実施した試験は、一軸圧縮試験、圧裂引張試験、線膨張係数測定、熱伝導率測定および比熱測定である。いずれの試験も、整形後1週間以上デシケータ乾燥した供試体を用いており、温度範囲は、室温から300℃までとした。

一軸圧縮試験および圧裂引張試験においては、異方性を調べるために、室温および200℃で、3方向について試験を実施した。また、一軸圧縮試験時には、ひずみゲージを用いて静弾性係数およびポアソン比を求めた。熱破壊実験において、供試体は引張応力によって破壊しているので、静弾性係数としては応力レベルが比較的低いときの値を用いるのが妥当であると考え、破壊応力の20%のときの割線弾性係数を採用した。

線膨張係数測定は、押棒式熱膨張計を用いて行った。供試体寸法は、直径20mm、長さ200mmとした。

熱伝導率の値は、レーザーフラッシュ法を用いて測定した温度伝導率の値と、断熱比較法を用いて求めた比熱の値とから求めた。

一軸圧縮試験の結果を図-1に、圧裂引張試験の結果を図-2に示す。一軸圧縮強度および圧裂引張強度は、温度上昇に伴って低下している。また、一軸圧縮試験時に求められた静弾性係数およびポア

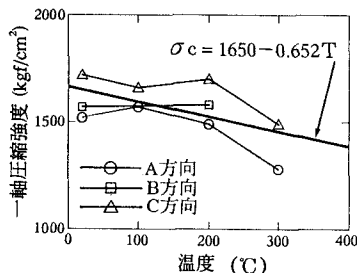


図-1 一軸圧縮強度と温度の関係

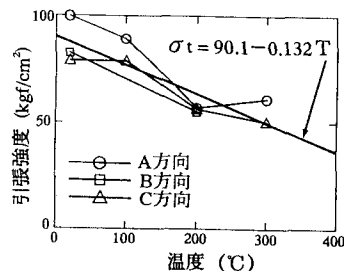


図-2 圧裂引張強度と温度の関係

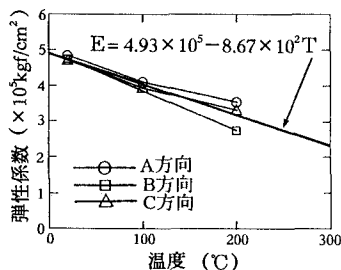


図-3 静弾性係数と温度の関係

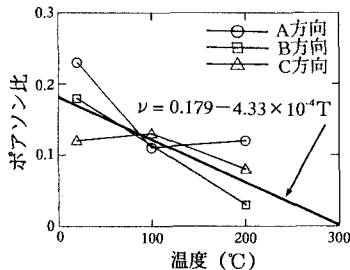


図-4 ポアソン比と温度の関係

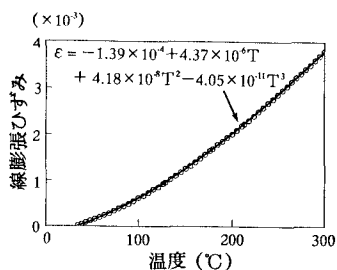


図-5 線膨張ひずみと温度の関係

ソン比も温度上昇に伴って低下している(図-3, 図-4)。

線膨張係数は, 図-5に示すように, 温度上昇に伴って増加している。強度特性や変形特性よりも温度依存性が大きく, 例えば, 300℃における線膨張係数は, 30℃におけるその約2.7倍になっている。

熱伝導率および比熱の測定結果は, 花崗岩の既存の測定結果²⁾と同じ傾向を示しており, 熱伝導率は温度上昇に伴って低下し, 比熱は温度上昇に伴って増加している。

3. 熱応力解析および実験結果との対比・検討

花崗岩ブロックの熱破壊実験を対象にして, 2次元FEMにより, 非定常熱伝導・熱応力解析を実施した。解析には, 室内岩石試験によって得られた物性値を用いたが, 物性値の温度依存性を考慮することの重要性を明らかにするため, 以下の4ケースについて解析を実施した。

ケース1: 総ての物性値について温度依存性がないと考え, 20℃における値を用いた場合。

ケース2: 熱伝導率および比熱の温度依存性だけを考慮した場合。それ以外の物性値は温度に依存しないものとし, 20℃における値を用いた。

ケース3: 熱伝導率, 比熱, 静弾性係数およびポアソン比の温度依存性を考慮した場合。

ケース4: ケース3に加えて更に線膨張係数の温度依存性を考慮したした場合。

温度依存性を考慮した解析を行う場合の各物性値と温度の関係式は図-3～図-5に示されている。

ケース4の場合の供試体内の熱応力分布の経時変化の計算結果を図-6に示す。ここで, 符号は引張を正としている。接線方向応力についてみると, 円孔中心から約5cmを境にして, それより内側では圧縮応力が, それより外側では引張応力が作用している。

熱破壊実験において供試体が引張応力により破壊した, 実験開始94分後における, 4つのケースのそれぞれの接線方向応力分布の計算値を図-7に示す。ケース4では供試体側面での引張応力が約70kgf/cm²に達しており, 室温における稲田花崗岩の引張強度(約79kgf/cm²)にかなり接近しているのに対して, それ以外のケースでは, いずれも50kgf/cm²以下であり, 稲田花崗岩の引張強度よりもかなり小さい値を示している。この結果から, 高温下における花崗岩の熱破壊挙動の予測を行う場合には, 線膨張係数の温度依存性を考慮した熱応力解析を行うことが重要であるということがわかる。

4. おわりに

岩石・岩盤を加熱した際の熱破壊挙動の予測手法を確立することを目的として, 花崗岩ブロックを加熱した際の挙動解析を実施し, 熱破壊実験結果と対比・検討を行った。その結果, 熱破壊挙動を予測するためには, 物性値の温度依存性が大きい場合にはそれを考慮した解析を行う必要があり, 花崗岩の場合には, 線膨張係数の温度依存性を考慮した解析を行うことが重要であるということが明らかになった。

[参考文献]

- 1) 石田 毅, 北野晃一, 木下直人, 若林成樹: A Eと弾性波速度測定による花崗岩ブロックの熱破壊挙動の観測, 土木学会論文集, 第418号/Ⅲ-13, pp.153-161, 1990.
- 2) 北野晃一, 新孝一, 木下直人, 奥野哲夫: 高温下岩石の力学特性, 熱特性および透水特性に関する文献調査, 応用地質, 第29巻, pp.242-253, 1988.

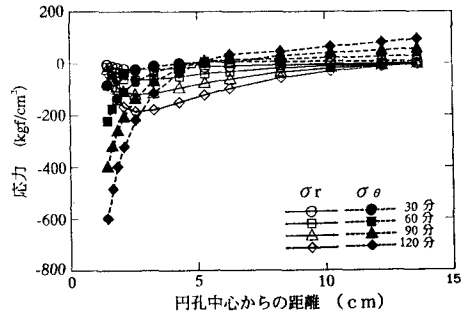


図-6 熱応力分布の経時変化(ケース4の場合)

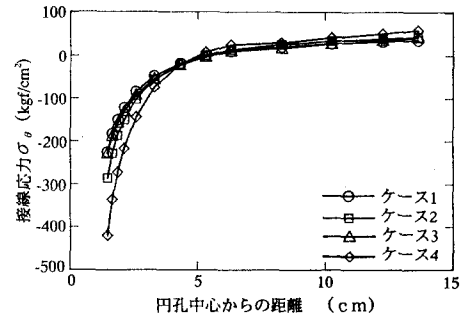


図-7 供試体破壊時間における接線方向応力分布の計算値