

Ⅲ-687

花崗岩の温度影響を考慮した異方性に関する研究

(株) 竹中工務店 正会員 下河内隆文 正会員 鈴木 吉夫
 正会員 岩本 宏 正会員 高治 一彦
 (株) 竹中土木 正会員 吉澤 敦

1. はじめに

地下利用計画の多様化に伴い、高低温及び温度履歴を受けた岩盤の挙動に関する研究も多く行われており、その研究対象の多くは花崗岩類である。花崗岩には潜在クラックが存在し、そのクラックが配向性を有するため、力学的に異方性を示すとされている¹⁾。しかし、温度が力学的異方性に対して及ぼす影響について統一的な見解が示されていない。文献2)では、異方性を考慮した常温における各物性試験結果についてまとめたが、ここでは、温度影響(高温)をパラメータに加え、花崗岩の線膨張係数の測定、温度履歴を受けた花崗岩に対する弾性波速度の測定、一軸圧縮試験、圧裂試験を行った結果について報告する。

2. 供試体および実験の概要

今回実験に用いた試料は稲田花崗岩である。異方性を考慮し、約300mm角の岩石ブロックからrift-plane, glain-plane, hardway-planeに直交する3方向に直径約50mm、長さ100mmの円柱形供試体を作製し、それぞれをR軸、G軸、H軸方向と呼ぶことにした²⁾。これを常温、気乾状態で数日間保管し、寸法、重量、パルス透過法による弾性波速度(縦波)を計測した後、プログラム制御可能なオープンで所定の温度履歴を与えた。その間のひずみの測定は、供試体中央部に90°おきに4カ所に貼った5mmひずみゲージを使用し、これをデータロガー・アナライザーよりパソコンへ集録した。この測定値を、実験に先立ち行った同条件での石英ガラスによる数回の測定から求めたひずみゲージの値により補正した。履歴を与えた温度は100°Cと150°Cで、昇温は多段階的に行い、室温から始め40°Cより20°Cおきに1時間保持し(図-1)、ひずみの値がほぼ一定となった後半の30分間の平均値を採用した。供試体近傍の温度を熱伝対により測定したところ、オープンの制御温度と一致していないため、データの整理に際しては熱伝対による測定値を用いた。昇温速度は熱衝撃の影響を与えないよう1°C/minとし、降温時は自然冷却とした。実験に用いた供試体は各軸方向、各履歴温度水準で3本ずつの測定とした。

室温に戻ったところで再度、寸法、重量、弾性波速度を測定し、一軸圧縮試験を行った。载荷は最大軸荷重4500kNのMTS社製油圧サーボコントロール試験機を用い、ひずみの測定には、軸方向、周方向の供試体接触型計測装置を用いた。制御方法は周方向の伸び一定制御($\dot{\epsilon}_r = 2.25 \times 10^{-6}/\text{sec}$ 相当)とした。

圧裂試験には直径約50mm、長さ約50mmの円柱形に整形したH軸、G軸方向の供試体を用いた。実験に先立ち1°C/minで100°C、150°Cまで昇温させて1時間保持した後、自然冷却させ、R、G、H面を圧裂面として実験を行った。载荷速度を0.1kN/secとし、試験本数は各温度履歴水準、各面方向で1本ずつである。

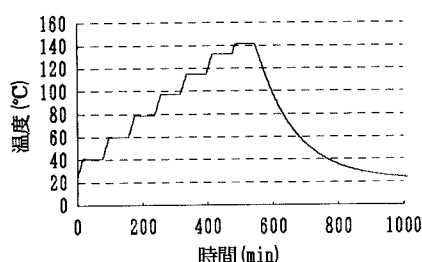


図-1 履歴温度と時間(150°C)

3. 実験結果

図-2は150°C昇温時の各温度区間での線膨張係数を平均値で求めたものである。一般的に花崗岩は線膨張係数に温度依存性があり、また、潜在クラックの卓越した面に直交する方向で最小となる³⁾と言われているが、今回の結果では異なり、温度依存性は不規則で、また、R軸方向で一番大きな値を示した。オーダー

4. 実験結果

実験結果を表-2に、各軸ごとの測定値の平均値で示す。

弾性波速度はH軸を基準として、G軸で95%、R軸で86%となり、岩石内部の空隙分布の異方性を示唆している。一軸圧縮強度、破壊ひずみに関しては、G軸、R軸が近い値を示し、H軸の値は両者より小さい。また、破壊応力の20%時の割線弾性係数については、H軸、G軸に比べ、R軸で約10%小さい。また、体積ひずみの最小値は、H軸と比べてG軸は1.07倍、R軸は1.25倍となった。圧裂強度については、R面が最小となり、次にG面、H面の順になっている。一般に脆性度は10~20と言われているが³⁾本結果で、R方向は27.4と最も高く、G方向で24.1、H方向で17.9となった。図-2、3に個々の測定値について弾性波速度と一軸圧縮強度、割線弾性係数の関係を示す。図-2ではほとんど相関性が見られないが、図-3では、弾性波速度と割線弾性係数に相関性がうかがわれ、これは最小体積ひずみに関しても同様な傾向であった。図-4に各方向において平均的な物性値を示した供試体1本ずつの応力ひずみ線図を示す。3方向とも破壊近傍でダイレイションが生じている。以上の結果から、異方性は潜在クラックの配向性によるとされているが、これに従うと、R面における潜在クラックの発達が大きく異方性に寄与していると言える。また、G面に対する物性値が中間値ではなくH面に対する物性値もしくはR面に対する物性値に近い値をとることもあり、これは現状では一義的に決められない。

5. おわりに

今回の実験では、稲田花崗岩について、異方性と弾性波速度、一軸圧縮強度、圧裂強度の関係について調べた。潜在クラックの配向性に敏感な物性が確認できたとともに、配向性だけでは決められない力学的物性が存在することが分かった。変形特性は、3つの軸を有する直交異方で整理可能と考えられるが、一軸圧縮強度に関しては変形特性と同等な異方で整理が困難であり、変形、破壊を含む力学特性を統一的にかつ簡易に表現することは難しいと考えられる。

謝辞

試料採取に際し、(株)タカタのお世話になったことを記し、謝意を表します。

参考文献

- 1) 工藤、橋本、佐野、中川：花崗岩の力学的異方性と岩石組織欠陥の分布、土木学会論文集、第370号/III-5、pp. 189-197、1986
- 2) 佐野、工藤、水田、中川：花崗岩の異方性を考慮した変形・破壊特性に関する研究、土木学会論文集、第400号/III-10、pp. 179-188、1988
- 3) 日本材料学会編：岩の力学、pp. 63-64

表-2 異方性を考慮した岩石の諸物性

	Hardway	Grain	Rift
単位体積重量 (gf/cm ³)	2.63	2.63	2.63
弾性波速度 (km/sec)	4.64	4.33	3.90
一軸圧縮強度 (MPa)	171.7	185.3	186.4
破壊ひずみ (μmm/mm)	2820	3010	3160
割線弾性係数 (MPa)	51530	50487	45943
最小体積ひずみ (μmm/mm)	900	970	1130
圧裂強度 (MPa)	9.6	7.7	6.8

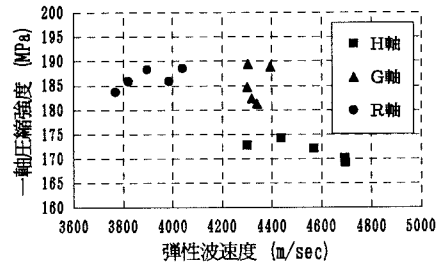


図-2 一軸圧縮強度と弾性波速度

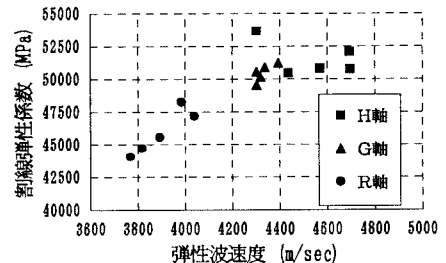


図-3 割線弾性係数と弾性波速度

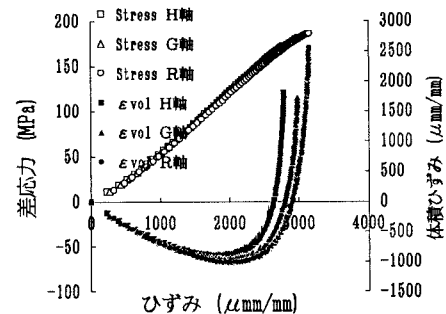


図-4 応力ひずみ線図