破壊ひずみに着目した稲田花崗岩の破壊特性に関する実験的研究

東亜道路工業株式会社　○正会員　樫野　誠
埼玉大学工学部　正会員　長田　昌彦
埼玉大学工学部　正会員　吉中　龍之進

1　はじめに

大深度地下空洞を伴う構造物を建設する場合に、より高圧下での岩盤物性、長期安定性の検討が必要となる。しかし、長期挙動において岩石の強度は時間とともに低下していくのが一般的であり、従来の応力のみで評価される破壊基準に時間の効果を含める事が困難である。そこで、新しい観点からの見直しとして Kranz の「Critical Dilatant Volumetric Strain」(1977)や藤井らの「引張破壊基準」(1991)などのひずみを用いた破壊基準がいくつか提案されている。そこで本研究では特に破壊ひずみに着目し、破壊過程において影響を及ぼす拘束圧、応力径路、クリープについて整理するとともに岩石内部に発生するマイクロクラックとの関連性について考察した。

2　実験概要

試料には 5×12.5(cm)の円柱供試体に整形した稲田花崗岩の dry の供試体を使用した。実験方法としてはひずみ速度一定の条件下で一軸、及び 1～135(MPa)の範囲での σ_3 一定の三軸圧縮試験を行なった。また、応力径路の影響においては応力レベル 90%までの破壊過程において σ_1 一定、σ_3 減少及び $(\sigma_1+\sigma_3)/2$ 一定の 2 つの側圧減少の挙動に着目した径路を辿らせた後、ひずみ速度、拘束圧一定の条件下で破壊させる試験を行なった。拘束圧は 100 から 10、50(MPa)に除荷する様にした。また、時間の効果においては応力レベル 85、89、91%において 8 時間クリープさせた後、ひずみ速度、拘束圧一定の条件下で破壊させる試験を行なった。この場合の拘束圧は 10(MPa)に統一した。次にそれぞれについての考察を行なっていく。

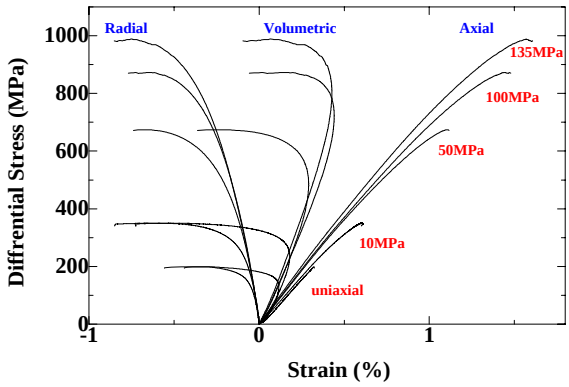

図-1　応力-ひずみ関係

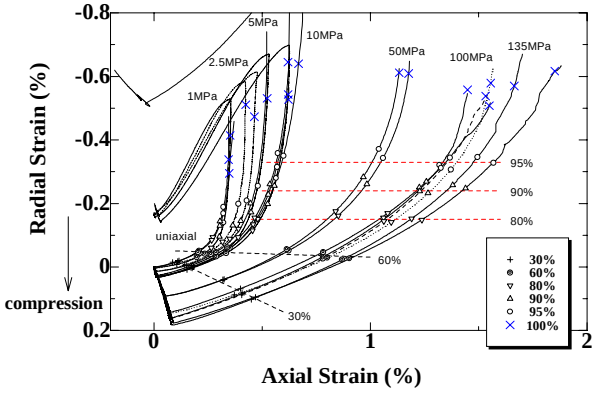

図-2　軸ひずみ-周方向ひずみ関係

3　拘束圧の影響

まず、**図-1** に各拘束圧における応力-ひずみ関係を示す。これより、拘束圧の増加に伴い破壊強度及びヤング率の増加が見られる。**図-2** に軸ひずみ-周方向ひずみ関係を示す。原点は無載荷の状態のひずみを 0 としている。これより軸方向の破壊ひずみは拘束圧の増加とともに増大するが周方向の破壊ひずみは 2.5(MPa)以上の拘束圧でほぼ一定している。これは一軸圧縮強度(qu=219MPa ひずみ速度 $2.0\times10^{-5}(s^{-1})$の時)の 62%にあたる 135(MPa)までの拘束圧領域において qu の約 1%に相当する。また、破壊時だけでなく、各拘束圧における 60%以上の応力レベルにおいてそれに対応する周方向の破壊ひずみの値も一定している。一軸圧縮試験においては周方向の上述の値よりも破壊ひずみが小さくなっているがこれは縦割れ破壊かせん断破壊の支配的な破壊モードの違いによるものと考えられる。

キーワード:　破壊ひずみ、破壊モード、稲田花崗岩、三軸圧縮試験
連絡先　:〒338-0825　埼玉県浦和市下大久保 255　埼玉大学工学部建設工学科　TEL　048-858-3547

4　応力径路、クリープの影響

図-3 に応力径路を破壊過程において変化させた三軸圧縮試験の破壊ひずみ、及び破壊過程においてクリープを行なった三軸圧縮試験での破壊ひずみ(ここでは三次クリープ開始時のひずみを破壊ひずみと定義した)をプロットしたグラフを示す。ここから応力レベル 90%未満において応力径路を変化させたとしても、一定時間クリープを行なったとしても破壊時ひずみは上述した値の範囲内に落ち着く。これにより応力レベル 90%未満での領域において各々の変化が破壊特性に及ぼす影響は少ないと言える。これは応力レベル 90%未満の領域では岩石内部のクラックの進展があまり顕著に見られないためであると考えられる。

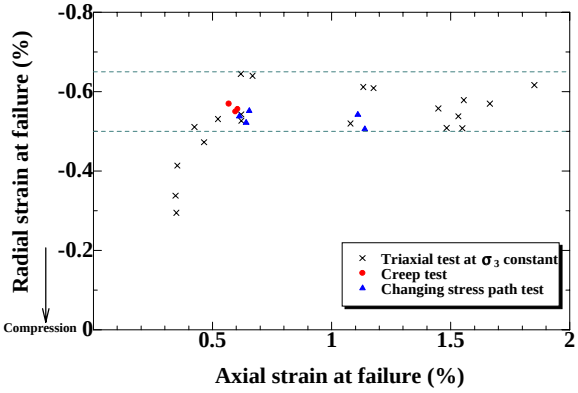

図-3　破壊時の軸ひずみ-周方向ひずみ関係

5　レプリカ法によるクラック分布評価

岩石内部のマイクロクラックの長さ分布をレプリカ法を用いて計測した。**図-4** に異方性を有する稲田花崗岩においてクラックが顕著に現れる hardway 面（Rift 面に垂直に載荷を行なった際）のクラックについて角度-クラック総長の関係を示す。クラックの抽出は供試体の中央付近で行い、ここで 0°方向が載荷軸方向になる。これはピークまで載荷した試験のデータである。これから拘束圧 1～10(MPa)へと増加していくに連れ、載荷軸方向に顕著にクラックが発達してくる。それとともに載荷軸に対し少し傾くせん断方向に向くクラックも増えてきている事がわかる。この事からもこの領域で破壊モードが遷移していると考えられる。

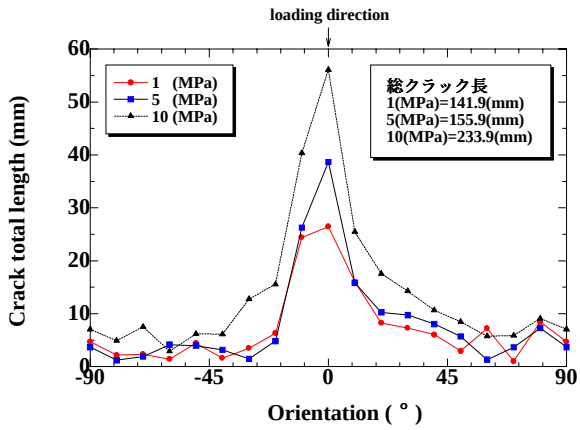

図-4　角度-クラック長さ関係

6　結論

得られた結論を列挙すると次のようになる。

・稲田花崗岩の一軸圧縮強度の 62%の拘束圧領域においてその 1%程度の拘束圧を負荷させる事により、軸方向の破壊ひずみは増加するのに対し、周方向の破壊ひずみは一軸状態を除いてほぼ一定するといえる。一軸状態が小さい値を示すのは縦割れ破壊か、せん断破壊か、支配してくる破壊モードの違いによる影響であると考えられる。

・ひずみ速度が速い試験の応力レベル 90%未満の領域での応力径路の変化、一定時間のクリープは破壊特性に及ぼす影響が少ないといえる。これは、応力レベル 90%未満の領域においては、クラックの発達があまり顕著に現れないためと考えられる。

・マイクロクラックの分布は拘束圧の増加に伴い、載荷軸方向に顕著に発達するがそれとともにせん断方向にも増えてくる。これはこの領域で破壊モードの遷移が起きているものと考えられる。

【参考文献】

(1)藤井　義明、木山　保、石島　洋二(1994)：引張ひずみ基準に関する研究，資源と素材、vol.110、p.211-214
(2)長田　昌彦、樫野　誠、山辺　正、吉中　龍之進(1999)：レプリカフィルムからのクラックの抽出方法の改良とその画像解析方法の検討，応用地質、第 40 巻 1 号, 36-46 .