

拘束圧下における水圧破碎の要素基礎実験

愛媛大学大学院 学生会員 ○ 柁原こころ

正会員 安原英明

正会員 木下尚樹

keyword : hydraulic fracturing, room experiment, mortar

1. はじめに

世界の活火山の約 8 % が日本に存在しており、この熱を発電に利用すれば、半永久的な国産エネルギー資源となる。その中で、近年、地熱エネルギーを利用した高温岩体発電が注目されている。これは地下の高温岩盤に水圧破碎技術を用いて地熱エネルギーを取り出す発電方法である。水圧破碎技術とは、坑井内に流体を圧入することによって、坑井付近の岩盤に人工的に亀裂を発生させ、地熱エネルギー回収のための貯留層を造成するというものである^{1), 2)}。

小杉ら³⁾は、封圧下におけるクラック発生条件の検討するため、厚肉円筒試験片による水圧破碎模擬実験および円柱試験片による圧裂試験を行った。その結果、水圧破碎において、封圧の影響が他の要因（空隙率、ポアソン比等）に比べ、かなり大きいことを明示している。また、石島ら⁴⁾は封圧下の水圧破碎挙動および微小破壊音活動の観測を行っている。封圧約 34 MPa 以下の範囲で破壊圧と封圧は直線関係であることを示している。また、孔圧の上昇により現れる微小破壊音（AE）の挙動には大きく分けて 2 種類あり、岩種や孔の被覆の有無により、一方が優先的に現れることを確認している。

このように、水圧破碎法に関していくつかの論文が報告されているが、高温岩盤の力学的・水理学特性について更なる解明が必要である。そこで、本研究では、岩石を用いた水圧破碎の予備実験として、モルタル円柱供試体を用いた室内水圧破碎実験を行った。

2. 供試体作製

ここでは、中心部に孔を開けたモルタル円柱供試体の作製方法について述べる。まず、直径 50×高さ 100 mm のモールドの底面の中心部に卓上ボール盤を用いて直径 5 mm の穴を設け、直径約 5 mm、長さ約 11 mm の木製の丸棒を挿入した。そのモールドに、早強ポルトランドセメント、東北珪砂 6 号（絶対密度：2.61 g/cm³、吸水率：0.36 %、粗粒率：FM = 1.63）、水を用いてモルタル供試体を作製した。配合は質量比 1 : 3 : 0.6 である。打設した 1 日後に脱型し、数日間水中養生後、丸棒を卓上ボール盤により削り、孔を成形した（図 1）。7 日水中養生後、気中保管し、実験前には十分に脱気した。

孔の開いていないモルタル円柱供試体（水セメント比 60%、7 日水中養生）の圧縮強度は 17.58 MPa、引張強度は 1.57 MPa であり、これらの結果から Mohr-Coulomb の破壊基準を求めた（図 2）。この結果より、最小主応力約 1 MPa、最大主応力約 7 MPa の境界条件を設定した。この差圧を作用させ、透水圧を逐次増加させ、水圧破碎実験を行った。

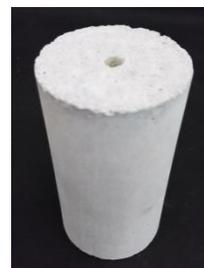


図 1 モルタル円柱供試体

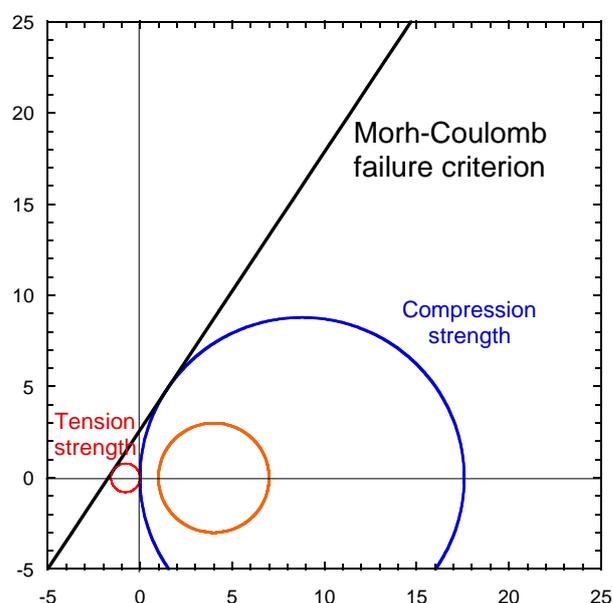


図 2 モール応力円

3. 実験概要

本実験では、高温高压三軸透水試験装置を用いて水圧破碎実験を行った。ここで、試験装置の模式図を図3に示す。供試体の周囲は熱収縮チューブで被覆し、側面からのシリコンオイルの混入を防いだ。また、中心部に孔の開いたウレタンシートをペDESTAL側、ネオプレンのシートを供試体側に設けた。耐圧の異なるシートを用いることにより、供試体に密着させることで側面流を防ぎ、中心部に透水圧が作用するようにした。セル内にシリコンオイルを供給することで側圧を、ハンドポンプにより軸圧を載荷し、それぞれ最小主応力、最大主応力を作用させた。また、垂直変位の測定は分解能 $0.1 \mu\text{m}$ 、精度 $1 \mu\text{m}$ の接触式変位計 (KEYENCE 社製: GT2) を用いた。透水圧は、シリンジポンプ (TELEDYNE ISCO 製: 500D) を用いて透水圧制御し、加圧水として脱イオン水を用いて水圧破碎試験を行った。

4. 実験結果

上記に示した透水圧・差圧条件で試験を実施したが、顕著な亀裂進展は見られなく、供試体の上下部分が脆性破壊した。最初に上記の差圧に設定したが、飽和させるために軸圧 1 MPa を下げた。上記の差圧条件で行うため、軸圧を上げたが透水しないため、軸圧 3 MPa 、側圧 1 MPa で水圧破碎しようとしたが、側圧が急激に上がった。これは側面流がセル内に漏水したと考えられる (図4)。また、実験後に差圧が急激に上昇し、軸変位が下がっているところで、脆性破壊したと予測される (図5)。

5. 実験結果

本研究では、モルタル供試体を用いた水圧破碎実験を行ったが、顕著な亀裂進展は見られなかった。

今後は、中心部に集中的に透水できるような装置改良が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 堀義直：地球にやさしい高温岩体発電の将来, Zairyo-to-Kankyo, 50 巻, pp.313-318, 2001
- 2) 片山郁夫, 山口歌織：花崗岩の破碎実験による空隙率・浸透率変化, 日本鉱物科学会 2012 年年会講演要旨集
- 3) 小杉昌幸, 速水博秀, 小林秀男, 松永烈: 封圧下の水圧破碎模擬実験, 日本鉱業会誌, 96 巻, 1113 号, pp.809-813, 1980
- 4) 石島洋二, 伊藤芳則, 木下重教：水圧破碎に関する実験とその解釈 (第 1 報) 水圧破碎に関する幾つかの実験結果, 日本鉱業会誌, 97 巻, 1126 号, pp.1235-1240, 1981

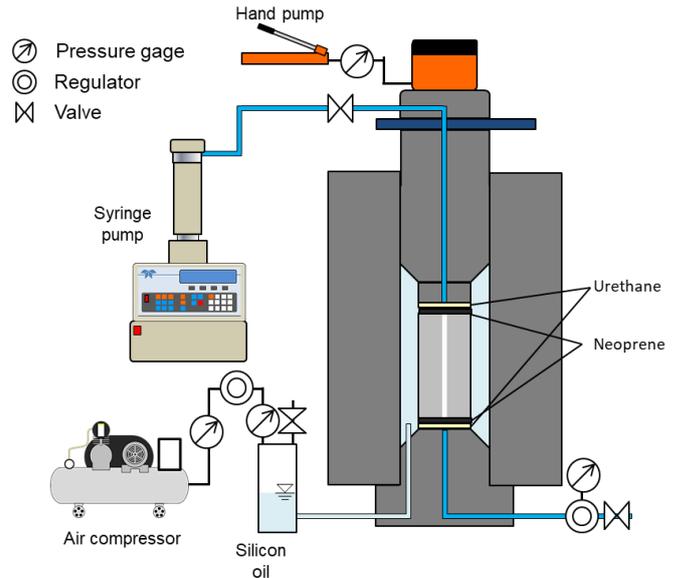


図3 室内水圧破碎試験装置模式図

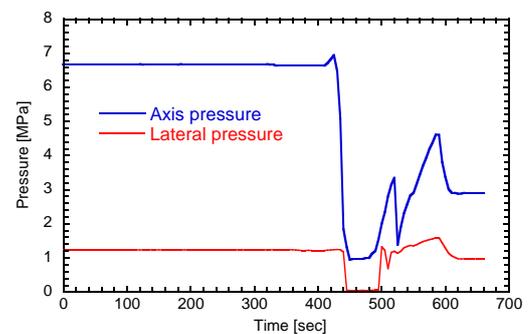


図4 側圧と軸圧

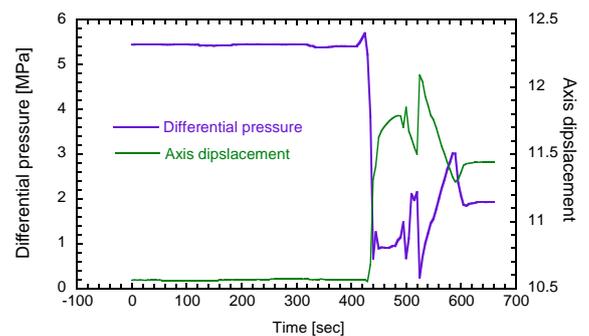


図5 差圧と軸変位