

III-232 圧盤方式による多孔質岩石の三軸圧縮試験

国立公害研究所 正会員 ○木村 強
九州大学工学部 正会員 江崎哲郎

1. まえがき

自然の現象は三次元的であることから、岩石の変形・破壊特性は、一般の三軸状態で検討することが望ましい。そのため、筆者らは圧盤方式による一般応力載荷装置を開発し、大理石および花崗岩の力学特性を明らかにしてきた¹⁾²⁾。この圧盤方式は可撓性の媒体で載荷する方式に比べて、一様なひずみの計測が正確、高圧縮応力を実現できるという特徴を有している。本研究では、多孔質岩石である凝灰岩を用いて圧盤方式の三軸試験を行い、高い圧縮応力下での変形・破壊特性を調べた。また、圧盤方式を採用したときの供試岩石の破壊の進展過程を数値解析によって検討した。

2. 実験装置および載荷方法

本載荷装置は、最大載荷能力2 MNの垂直方向のジャッキと水平2方向の1 MNのジャッキがそれぞれ直交しており、一般応力下での三軸載荷が可能である。載荷面は圧盤で、その載荷面積は36mm×36mm、最大圧縮応力は、垂直応力1.5GPa、水平方向750MPaの高い応力が得られる。供試岩石は福島県萩野凝灰岩で、一稜40mmの立方体に仕上げた。空隙率は33%と大きく、多孔質なことがこの岩石の特徴である。

載荷方法は、まず静水圧軸に沿って、所定の平均主応力 σ_m （この状態を初期静水圧 σ_{m0} と呼ぶ）まで載荷し、次にその σ_m を一定に保ちながら八面体せん断応力 τ_{oct} を増加させ破壊に至らしめた。本載荷装置では、中間主応力の影響を調べることができるが、今回は三軸圧縮状態($\sigma_2 = \sigma_3$)についてのみ実験を行った。

3. 実験結果および考察

図-1に、主応力-主ひずみ曲線を示す。破線は $\sigma_m = 400$ MPaまでの静水圧載荷による応力-ひずみ関係であり、実線は $\sigma_{m0} = 50$ MPa、100MPa、200MPa、300MPaにおいて八面体せん断応力を増加させたときのものである。静水圧載荷のもとでは、花崗岩は500MPaまで弾性的挙動を示した²⁾のに対し、本凝灰岩は100MPaまで直線的で、その後150MPa~250MPaにおいて曲線の勾配が緩やかとなっている。これは、粒子が空隙に移動して塑性ひずみが増大したためである。250MPa以上では、粒子の空隙への移動が小さくなることにより応力-ひずみ曲線の勾配は再び増加し、全体として顕著な逆S字形の静水圧下の応力-ひずみ特性を呈している。八面体せん断応力の増大に伴う主ひずみの挙動は、初期静水圧の低い弾性領域と初期静水圧の高い塑性領域とで異なっている。すなわち、 $\sigma_{m0} = 50$ MPaでは、八面体せん断応力が小さいときには応力-ひずみ曲線はなお直線的であり、破壊の直前で急激にその勾配が小さくなる。これに対して $\sigma_{m0} = 100$ MPa以上では、応力-ひずみ曲線の非線形性が全体をとおして現れている。

Rendulic応力面上の破壊点を図-2に示す。ここで、縦軸および横軸は、一軸圧縮強度で除して無次元化して表わしている。同図には、空隙率の異なる花崗岩(1%)、砂岩(13%)、大理石(2%)の結果も示してある。実線はHoek and Brownによる経験的破壊規準で、花崗岩、砂岩、大理石

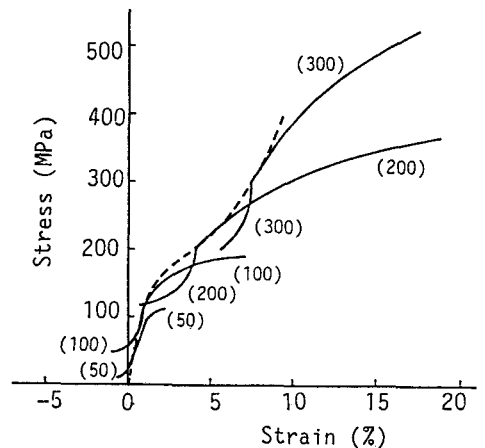


図-1 主応力-主ひずみ線図

に対して m の値はそれぞれ25、15、7とした³⁾。図からわかるように、空隙率の大きいほど破壊曲線は静水圧軸に平行となる。ただし大理石の場合には、粒状結晶質岩石の特徴として、空隙率が小さいのにもかかわらず大きな強度は発揮できない。

4. 供試岩石の破壊の進展過程

圧盤方式の場合の供試岩石の破壊の進展を検討するため、二次元平面ひずみ状態を仮定して有限要素解析を行った。そのとき、供試岩石と圧盤の境界を摩擦要素で表現し、摩擦係数を0.05とした。この値は、境界面にテフロンシートを挿入した場合に相当する。ヤング率は、供試岩石で13GPa、圧盤で210GPaとし、ポアソン比は両者とも0.3とした。

$\sigma_{m0} = 200\text{MPa}$ の三軸圧縮（垂直方向374MPa、水平方向120MPa）下での応力状態をもとにして相対破壊限接近度 S ⁴⁾を求めたものを図-3に示す。対称性を考慮してモデルの1/4のみを表示している。CおよびTは応力状態がそれぞれ圧縮、引張であることを意味し、右上の図は供試岩石の右端部を拡大して示している。圧盤方式では、境界面にテフロンシートなどを挿入すれば、境界面での摩擦に起因するせん断力を低減することができる。しかし、圧盤が供試岩石よりも小さいために、圧盤端部が当たる部分では S の値は非常に大きくなり、この部分でまず破壊が生じる。また、供試岩石の中心部では側面よりも大きな S 値が生じており、破断面はコンター線の尾根に沿って形成されと考えられることから、最終的には供試岩石の端部から中心に向かって破断面が現われると予想される。

参考文献

- 1) 西田 正ほか：第17回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、56-60（1985）
- 2) 江崎哲郎ほか：第21回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、421-425（1989）
- 3) E. Hoek and E. T. Brown : J. Geotech. Eng., ASCE, 106, 1013-1035（1980）
- 4) 山下 秀・大川哲志：破壊の判定とグラフィック表現、地殻開発に伴う数値解析法ワークショップ、資源・素材学会（1988）

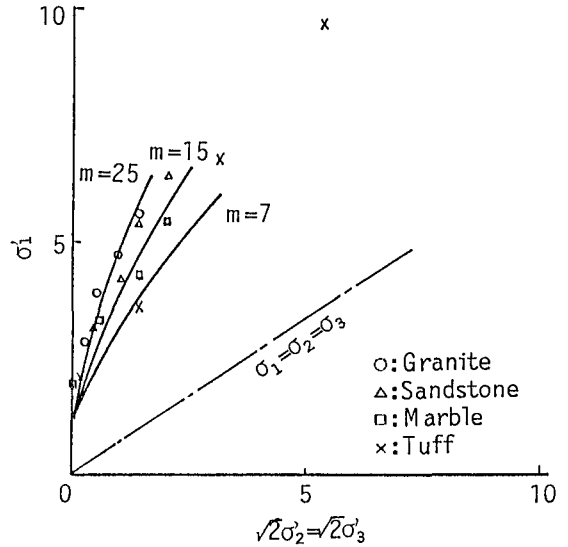


図-2 Rendulic面上での破壊点

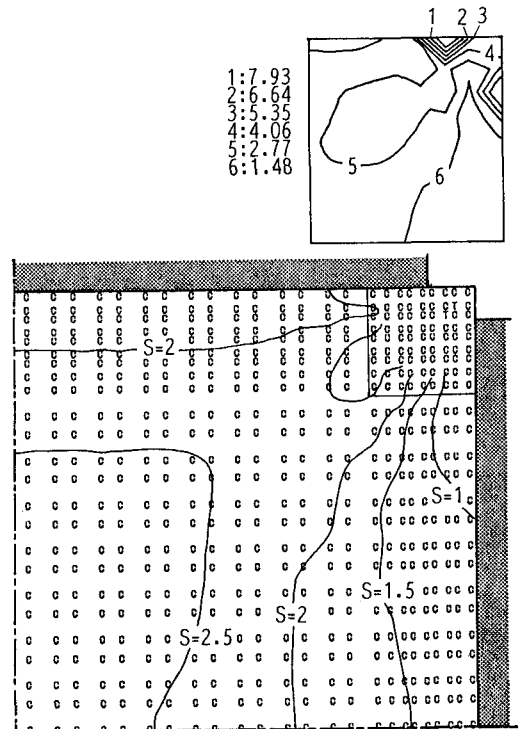


図-3 三軸圧縮下での相対破壊限接近度