

剛性一軸圧縮試験による岩石の許容最大ひずみの決定に関する研究

大阪大学工学部 学生員 ○小泉 悠 大阪大学大学院 正会員 谷本 親伯
 大阪大学大学院 学生員 津坂 仁和 大阪大学大学院 学生員 山仲 俊一朗
 大阪大学大学院 学生員 中根 達人

1. はじめに

山岳部においてトンネルを掘削した後、その周辺岩盤の力学的安定性は現場計測及び数値解析により照査される。谷本らは、地山強度比が 1.0 以下となる地山に対してその解析を行う際、岩石が強度破壊点以降において示すひずみ軟化挙動を考慮した解析モデルを用いる必要があり、このとき塑性流動現象が開始されるひずみが岩石の許容最大ひずみとなると考えている¹⁾。本研究では、岩石の強度破壊点以降の力学的挙動の把握及び許容最大ひずみの決定を目的とし、岩石の模擬として石膏からなる供試体を用い、剛性一軸圧縮試験を行った。その試験結果をここに報告する。

2. 供試体および試験方法

供試体の材料は石膏である。その形状は円柱であり、直径と高さの比である縦横比を 0.9～2.0 の範囲で変化させた。これは、縦横比の差異が完全応力 - ひずみ線図の形状に及ぼす影響を調査するためである。供試体端面の平行度は $\pm 0.05\text{mm}$ 以内とした。各供試体の寸法を表-1 に示す。

本研究では材料試験機の剛性を高めるための装置として、金属棒 4 本、金属盤 2 枚及びナットからなる剛性枠を製作した。金属棒の直径は 24mm、材質は S45C である。金属盤はそれぞれ厚さ 35mm、材質は SS400 である。製作した剛性枠を図-1 に示す。

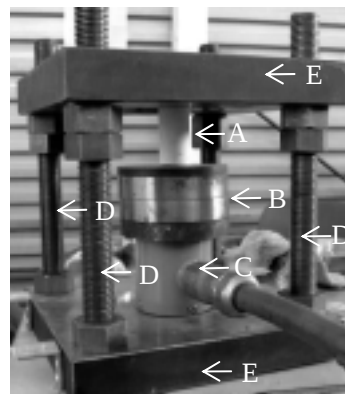


図-1 剛性枠及び供試体

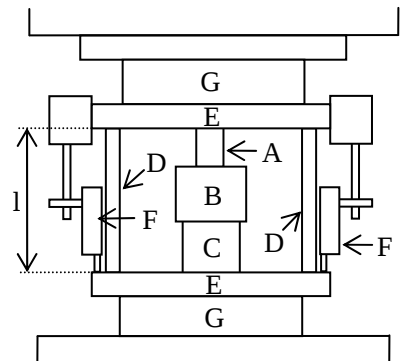


図-2 剛性一軸圧縮試験状況図

A: 供試体, B: 球面座, C: ロードセル, D: 金属棒
 E: 金属盤, F: ダイアルゲージ, G: 試験機加圧板

供試体をこの剛性枠内部に設置し、金属棒とともに加圧した。載荷はひずみ制御により行い、ひずみ速度は 0.0005/分とした。剛性枠内部には球面座、ロードセルを供試体と直列に設置した。また、4 つのダイアルゲージを図-2 に示すように設置することで供試体の変位を求めた。ただし、ダイアルゲージによる測定値 Δl は、供試体の変位の他に球面座及びロードセルの変位を含むため、次式 (1) により供試体のひずみ ε を求めた。

ここで、 $Ave(\Delta l_{1\sim 4})$: ダイアルゲージにより測定する変位の平均値、 P : 供試体にかかる荷重(N)、 h : 供試体高さ(mm)、 $K_1 = 2.40 \times 10^7$ (N/mm): 球面座剛性、 $K_2 = 3.27 \times 10^6$ (N/mm): ロードセル剛性である。

$$\varepsilon = \frac{Ave(\Delta l_{1\sim 4}) - \frac{P}{K_1} - \frac{P}{K_2}}{h} \quad \dots\dots (1)$$

表-1 供試体寸法と試験結果

供試体名	直径 (mm)	高さ (mm)	縦横比	圧縮強度 S_c (MPa)	弾性係数 E (10^3 MPa)	許容最大ひずみ ε_{s-f} (10^{-3})	軟化の傾き w (10^3 MPa)	変曲点応力 σ_a (MPa)
A-1	25.96	50.18	1.93	65.5	15.7	5.34	38.2	20.8
A-2	25.78	49.83	1.93	79.7	17.6	5.43	57.1	27.5
B-1	25.74	40.21	1.56	57.5	10.9	6.48	16.9	34.4
B-2	25.91	39.72	1.53	71.7	17.3	6.18	20.0	30.7
B-3	25.79	40.57	1.57	84.4	17.2	6.16	42.0	30.5
C-1	25.94	25.07	0.97	79.9	16.7	6.18	15.9	57.8
C-2	25.91	25.00	0.96	79.5	14.7	8.55	8.7	52.0

キーワード: 強度破壊点, ひずみ軟化, 塑性流動, 許容最大ひずみ, 剛性一軸圧縮試験

連絡先: 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 TEL06-6879-7346

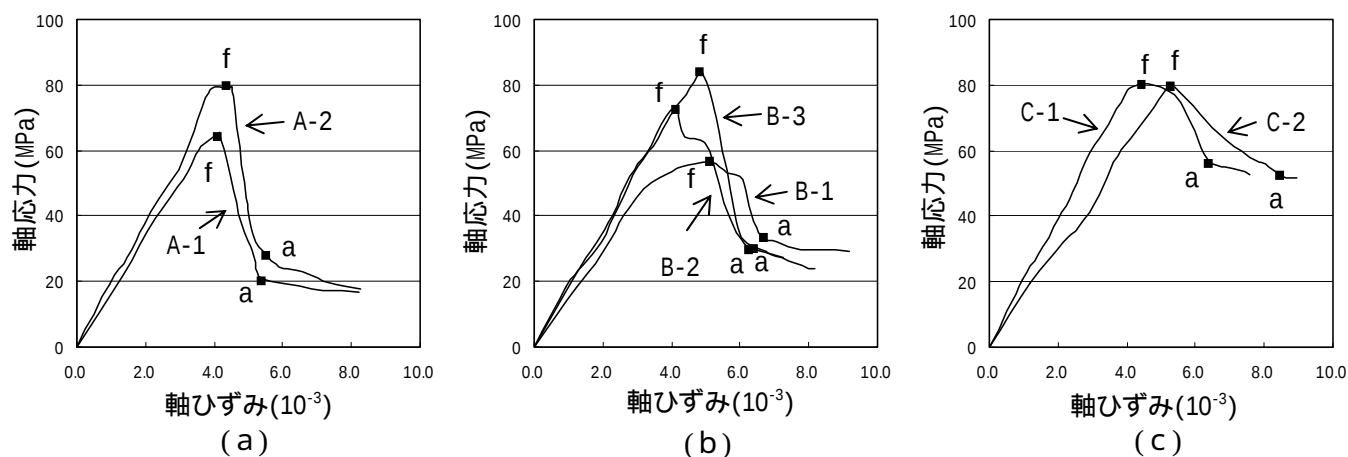
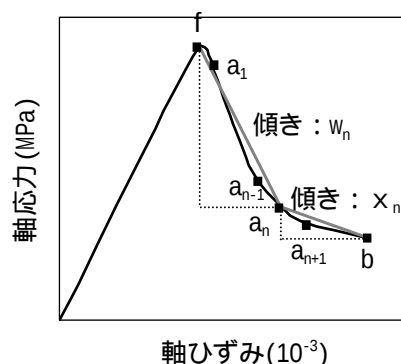


図-3 各供試体の完全応力 - ひずみ線図

3. 試験結果と考察

式(1)を用いて完全応力 - ひずみ線図を得たところ、曲線が最初の部分で大きく湾曲した。これは供試体に荷重が伝わり始めるとき、球面座の非線形的な変形が多分に反映されたものであると考えられる。そこで湾曲が顕著に示された最大荷重 30%以下での応力とひずみに対して、最大荷重 30~100%での応力とひずみの回帰直線を与えて得た完全応力 - ひずみ線図を図-3 に示す。得られた試験結果を表-1 に示す。

強度破壊点 f 以降、ひずみ軟化の負の傾きは減少し、除々に 0 へと漸近していく。これは供試体の状態が、ひずみ軟化から塑性流動へと遷移していく過程を表している。ただし、ひずみ軟化の負の傾きは完全に 0 となることはないため、本研究では、ひずみ軟化域と塑性流動域との境界点 a を負の傾きが最大変化する点とみなした。すなわち、試験時に記録された任意の点 a_n について、図-4 に示すように強度破壊点 f との直線の傾き w_n 、試験終了時の点 b との直線の傾き x_n を求め、負の傾きの比 w_n / x_n が最大となる点として決定した。この点におけるひずみを許容最大ひずみ、応力を残留強度とした。

図-4 境界点 a の決定

また、図-5 に示されるように供試体縦横比の減少に伴って、強度破壊点以降の完全応力 - ひずみ線図の形状が変化し、最大許容ひずみ及び残留強度が増大する傾向が認められた。これは封圧を徐々に増加させたときの三軸圧縮試験結果に類似する。供試体は圧縮されるとき、軸方向に縮むとともに横方向に広がるが、このとき加圧面と供試体端面の間で摩擦が生じ、その広がりを拘束するようなせん断応力が生じることがある。縦横比が小さい、すなわち供試体長の小さい供試体ほど、このせん断応力の影響を強く受け、より三軸応力下に近い状態にあったことが考えられる。

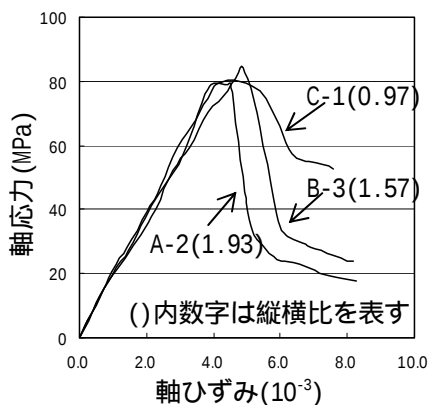


図-5 縦横比と完全応力 - ひずみ線図の形状の変化

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 剛性一軸圧縮試験により石膏供試体が強度破壊点以降、ひずみ軟化状態から塑性流動状態へと遷移していく過程を把握し、許容最大ひずみを求め得た。
- 2) 供試体の縦横比が強度破壊点以降の力学的挙動に影響を与え、縦横比が小さくなるほど最大許容ひずみが大きくなり、残留強度が大きくなった。

[参考文献]

- 1) 谷本親伯，畠昭治郎：切羽周辺での地山挙動を考慮したトンネル支保の基本的概念，土木学会論文報告集，Vol. 325，pp. 93-106