

III-346

岩石中空供試体による内圧変動試験

（株）大林組 鈴木健一郎

同上 桑原 徹

同上 平間 邦興

1. はじめに

圧縮空気地下貯蔵や圧縮ガスの地下貯蔵などのように地下空洞に内圧が作用するような場合、周辺岩盤の応力状態は様々な応力状態を経験する。空洞の長期安定性を考えるためにはそれら経験する各応力状態において岩盤の繰返し特性についての検討をする必要があると考える。これまで岩石を対象とした繰返し試験は等方応力状態から軸差応力を作用させて、それを最大片振幅とする圧縮側の片振り繰返しが行われてきた。しかし、実際には空洞掘削により圧縮応力が解放され、内圧の作用で引張に転じるというような圧縮－引張の両振りの応力状態の繰返しが起こる可能性がある。また、通常の岩石円柱供試体に対して土質材料のように圧縮－伸長の繰返し試験を実施しようとすると伸長時に供試体と載荷ピストンが離れてしまうという現象が起こり、試験の制御が非常に難しい。そこで、岩石の中空供試体に内圧を作用させて周方向応力に引張の状態を作り得る繰返し試験を採用し、不完全片振り繰返し試験を実施し、圧縮－引張の両状態の繰返し載荷による岩石の劣化特性を調べた。本報告は軸圧および拘束圧の作用下で、内圧を変動させた不完全両振り繰返し試験での岩石の変形特性について調べた結果について述べるものである。

2. 試料および実験方法

試験に用いた試料は花崗岩で、その一軸圧縮強度は100MPa、圧裂引張強度は50MPa、一軸圧縮試験によるヤング率およびポアソン比はそれぞれ250GPaおよび0.36である。供試体は、高さ100mm、内径20mmおよび外径60mmの中空円柱状である。内壁には耐圧10MPaのワイヤーストレインゲージを軸方向および周方向にそれぞれ4枚ずつ貼り、それぞれのひずみを計測した。その上に液体ゴムを塗布した後、硬化させ、供試体内への間隙水の浸入はない状態にした。試験装置の模式図を図-1に示す。内圧はサイン波、矩形波および三角波の3種類で、周期は1秒から10000秒までの間で選択できる。手順は周方向応力を作用させた後、やや小さな内圧を作用させ、軸方向に内圧以上の所定の軸圧を作用させ、所定の振幅により繰返し試験を実施する。軸方向、周方向および半径方向のそれぞれの応力およびひずみは次のように表される。³⁾

$$\sigma_z = -p_i \quad ; \quad \epsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_r + \sigma_\theta)]$$

$$\sigma_r = \frac{a^2 b^2 (p_o - p_i)}{(b^2 - a^2)^2} + \frac{a^2 p_i - b^2 p_o}{b^2 - a^2} \quad ; \quad \epsilon_r = \frac{1}{E} [\sigma_r - \nu(\sigma_z + \sigma_\theta)]$$

$$\sigma_\theta = -\frac{a^2 b^2 (p_o - p_i)}{(b^2 - a^2)^2} + \frac{a^2 p_i - b^2 p_o}{b^2 - a^2} \quad ; \quad \epsilon_\theta = \frac{1}{E} [\sigma_\theta - \nu(\sigma_z + \sigma_r)]$$

ここで、aは内径、bは外径、 p_z, p_o, p_i はそれぞれ軸圧、周圧および内圧である。また内圧は初期内圧を p_i として振幅 p_a のサイン波で、周期100秒であるので、内壁近傍($r+a$)での周方向、軸方向の応力およびひずみはそれぞれ

$$\sigma_\theta = -2.25 p_o + 1.25 \left[p_i + p_a \sin\left(\frac{2\pi}{100}\right) \right]$$

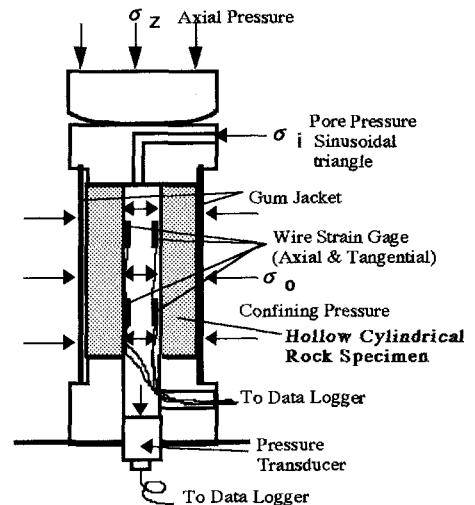


図-1 岩石中空供試体の内圧変動試験

$$\sigma_z = -p_z$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{8E} \left\{ 8vp_z - 18p_\theta + (10 + 8\nu) \left[p_i + p_a \sin\left(\frac{2\pi t}{100}\right) \right] \right\}$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{8E} \left\{ -8p_z + 18vp_\theta - 2\nu \left[p_i + p_a \sin\left(\frac{2\pi t}{100}\right) \right] \right\}$$

となる。

3. 試験結果および考察

図-2に試験結果の一例を示す。(a)が内圧の時間変動、(b)が周方向ひずみの時間変動、そして(c)が軸方向ひずみの時間変動を繰返し回数20回までを記したものである。加えた内圧の時間変動に対して、周方向および軸方向のひずみがほぼ瞬時的に応答しているが、両方向の応答は位相が逆転している。図-3は内圧の1周期変動に対する周方向ひずみ(a)と軸方向ひずみ(b)の関係を10波毎に示したものである。図-4に各繰返し段階での応力-ひずみ関係の勾配を繰返し回数に対して取ったものである。接線方向の変形性は、繰返しの増加に伴い勾配が若干小さくなり、引張強度に関する応力比も繰返しに伴う劣化を誘発することを示唆している。軸方向については変化がみられなかった。

4. まとめ

中空岩石供試体により、内圧変動による圧縮-引張の両振り試験が可能となった。変形特性に注目した結果、内圧変動に伴う中空供試体の変形を捉えることができた。引張側の応力比も大きくなれば繰返しに伴う、変形特性の低下も考えられる。

【参考文献】

1)鈴木他、花崗岩の疲労特性に及ぼす周波数と風化度の影響、第25回土質工学研究発表会、2)土質工学会；土質試験の方法と解説、p.451, 1990、3)L.Obert and W.I.Duvall: Rock Mechanics and the design of structures in rock, John Wiley & Sons, Inc., p.89, 1967

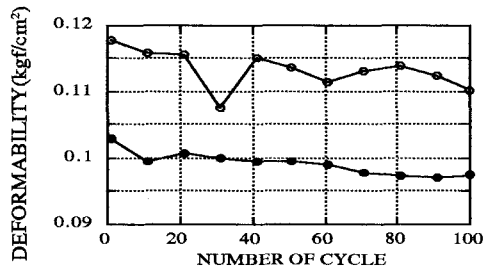


図-4 弾性係数と繰返し回数の関係

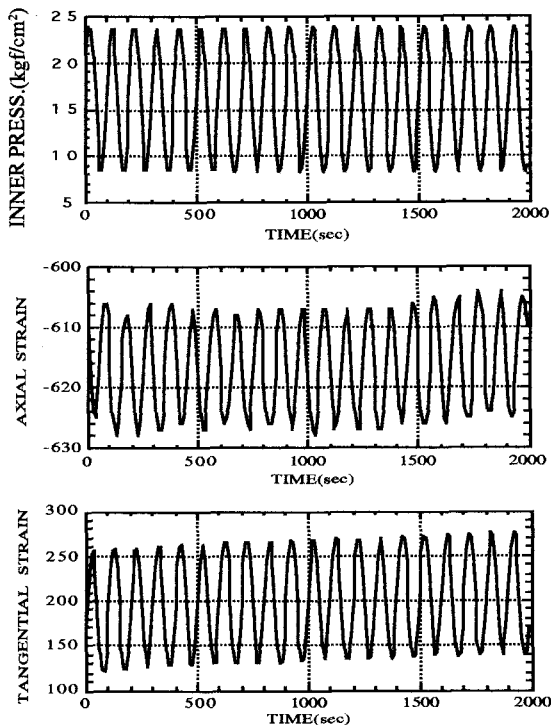


図-2 試験結果の一例

(a)内圧の時間変動

(b)軸ひずみの時間変動

(c)周方向ひずみの時間変動

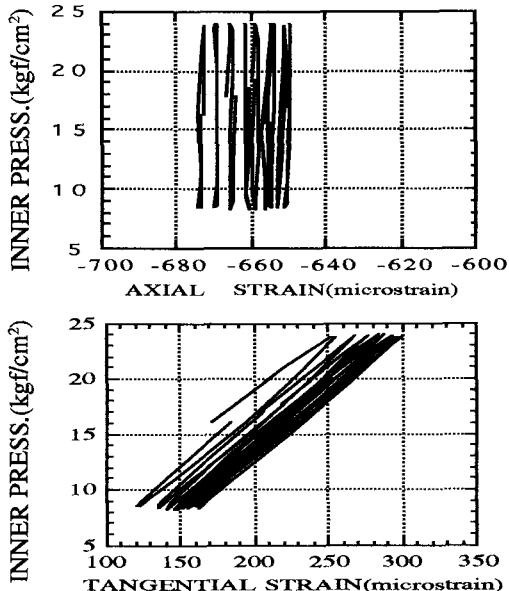


図-3 応力-ひずみ関係

(a)10波毎の内圧-軸ひずみ関係

(b)10波毎の内圧周方向ひずみ関係