

V-242 厚肉円筒状ドロマイト供試体の繰返し内圧下における疲労特性

清水建設(株)正会員 倉岡千郎

ウィスコンシン州立大学 B. C. Haimson

1. はじめに 超電導エネルギー貯蔵(SMES)システムの電磁力を支持する構造としては岩盤の利用が考えられている。これまでの概念設計⁽¹⁾によつて、貯蔵容量5GWhのSMESでは $30 \sim 50 \text{ kg/cm}^2$ の電磁力が分布荷重として、1日1回(30年で約1万回)岩盤に作用することになりSMESの安定性評価のためには、長期繰返し荷重による岩盤の疲労特性、特に岩盤の疲労強度、変形特性の検討が必要となる。岩石の疲労特性については、西松⁽³⁾、Haimson⁽⁴⁾、石塚⁽⁵⁾らにより1軸圧縮状態等による研究が行われてきている。本研究ではSMES岩盤空洞の疲労特性把握のための基礎的な検討として、特に円環状の岩盤空洞に径方向分布荷重が作用することにより空洞周方向に引張応力が発生し得ることに着目した。そのため円孔を有する岩石に繰返し内圧を加えた時の基本的疲労特性を調べることを目的として、厚肉円筒状岩石を用いて内圧の繰返し载荷試験を実施した。

2. 実験概要 岩石試験片は米国ウィスコンシン州に産するドロマイトを用い寸法外径55mm内径14mm、高さ120mmの厚肉円筒状供試体とした。供試体内圧を加えるために図1に示すような小型のパッカーを用い、油圧によりウレタンチューブを膨脹させることによって圧力を供試体内壁に加える。パッカーに加えられる油圧はMTS社製サーボコントロール試験装置を使用した。繰返し载荷試験の制御は応力制御とし载荷波形は図2に示すような三角波とした。繰返し周波数は、基本的に1.0Hzとしたが実際のSMESでは繰返し周波数が1日1回と長周期なので周波数依存性を調べるために0.1Hzについても試験を実施した。また、図2に示すように供試体の内壁にひずみゲージをとりつけ、周方向ひずみを測定した。繰返し試験の载荷圧力(パッカー内圧力) p は静的強度(破壊時のパッカー内圧力) p_s を基準(100%)として圧力比 $S = p/p_s$ 、95%~60%の範囲で選んだ。载荷圧力は、パッカーの圧力を測定したが実際の供試体の内壁に作用する圧力とパッカー内の圧力はパッカー自体の剛性及び厚みのため厳密には一致しない。

また、パッカーによる载荷が内壁のひずみゲージにおよぼす影響を調べる必要が有る。そこで、材料特性が既知であるアルミニウム等で岩石供試体と同じ内径寸法と長さを持つ供試体を用いて、内壁及び外壁の周方向にひずみゲージを貼付けることによって内壁に作用する圧力を実験的にもとめると共に、ひずみゲージのキャリブレーションを行った。その結果2Mpa以上の圧力下ではパッカー内の圧力と供試体内壁に作用している圧力が等しいことがわかった。また、ひずみゲージもパッカー内圧力が1.4Mpa以下の場合は影響を受けないことがわかった。以上のことから载荷圧力の下限値は2Mpaとした。

3. 実験結果

(1) 変形特性 図3-aに周波数0.1Hzにおける疲労試験開始より破壊にいたる代表的な内圧-内壁周方向ひずみ線図を示す。図のように、第1回目の载荷後の残留ひずみ(ε_p)がその後の累積残留ひずみに比べて極めて大きい。

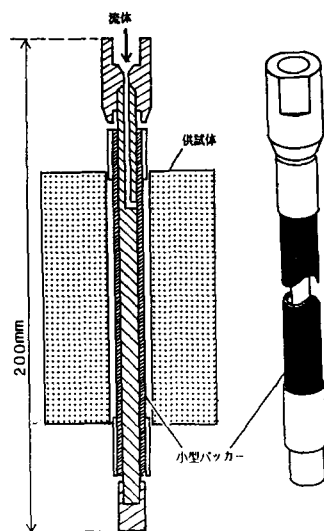


図1 供試体断面と内圧載下用小型パッカー

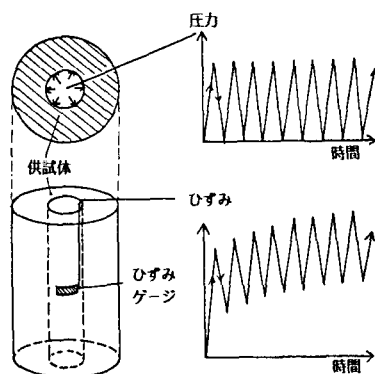


図2 載下パターンとひずみ計測状態

超電導エネルギー貯蔵の岩盤空洞の場合も第1回目の载荷後の残留変位が長期に渡る岩盤の累積残留変位の中で支配的になる場合が考えられる事からシステムの設計をする上で注目すべき一つの特性と考えられる。一方図3-bに同じ実験から得られた内径ひずみ-時間線図を示す。図中のひずみ-時間線図の最大ひずみ及び残留ひずみの軌跡は一軸圧縮繰返し载荷試験の結果と同様に岩石のクリープ試験で見られる変形特性と同様の傾向を示す。この変形特性は超電導エネルギー貯蔵システムの設計において、空洞の長期的変位がコイル構造等の許容変位量を越えないように設計しなければならない事を示唆している。

（2）疲労強度 図4-a及び図4-bにそれぞれ周波数0.1Hzと1.0HzにおけるS-N線図を示す。前者のS-N線は次式で表すことができる。

$$S = 100 - 7 \cdot \log N \quad \text{----- (1)}$$

同様に、後者のS-N線を次式に示す。

$$S = 100 - 7.6 \cdot \log N \quad \text{----- (2)}$$

以上の二式（1）、（2）に見られるようにこの実験では周波数の違いによる疲労強度特性への影響は認められなかった。破壊時は円筒状岩石が内空を挟んで二分される形を示し引張り応力による破壊を呈している。また、1000回～10000回の载荷回数を加えた場合の疲労強度は静的強度の70%～80%になる。

4. おわりに 本試験より、超電導エネルギー貯蔵の岩盤空洞に周方向引張応力が発生する場合は次の点に留意してシステムを設計する必要があると考えられる。

- （1）第一回目の残留ひずみがその後の累積残留ひずみの中で支配的であること。
- （2）累積残留ひずみ及び最大ひずみが岩石のクリープ試験と同様の変形特性を示すこと。
- （3）周波数0.1～1.0 Hzではドロマイト供試体の疲労強度は70%～80%に低下すること。

実際のSME Sの岩盤空洞には地圧が作用するため今後の試験としては外圧の影響を考慮した内圧疲労試験が考えられる。また、周波数依存性については顕著な傾向は見られなかったがSME Sが長周期载荷であることから今後十分検討していきたい。

参考文献

- （1）超電導エネルギー貯蔵システムに関する調査研究(3), NEDO-P-8480 1985
- （2）超電導エネルギー貯蔵システムに関する調査研究報告書, ENAA1985--ブ (1986)
- （3）西松裕一ら：材料, 第20巻, 第209号, pp. 68-72, 1970
- （4）Haimson B.C.: National Academy of Science, pp. 373-378 (1974)
- （5）石塚与志雄ら：第22回土質工学研究発表会講演要旨集 (1987)

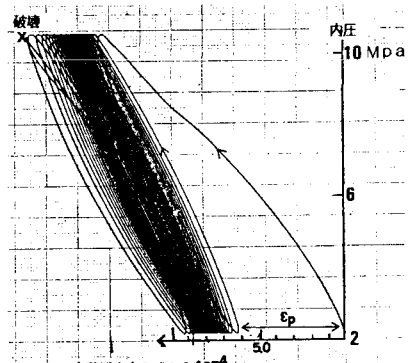


図3-a 繰返し載下試験結果：内圧-ひずみ線図

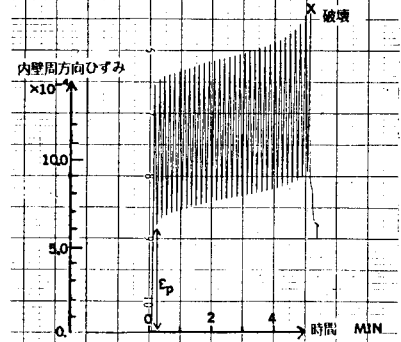


図3-b ひずみ-時間線図

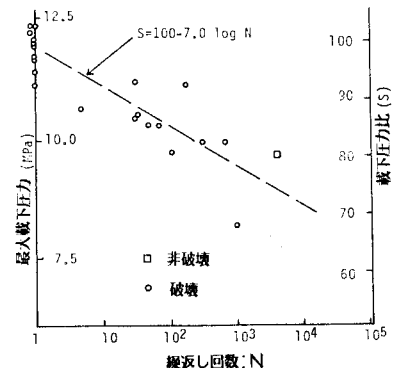


図4-a 疲労破壊強度特性：周波数0.1Hz

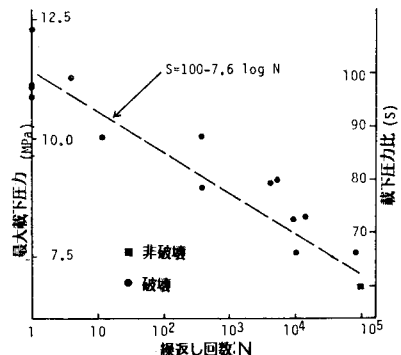


図4-b 疲労破壊強度特性：周波数1.0 Hz