

愛媛大学工学部 フェロー会員 稲田 善紀
 愛媛大学工学部 正会員 木下 尚樹
 愛媛大学工学部 学生員 ○高須賀伸生

1. はじめに

筆者らは、省エネルギーの観点から、ごみ焼却時の廃熱により水を熱水に換え、これを多目的に利用する際、安定供給のために熱水を地山岩盤内の空洞に一時的に貯蔵することを提案してきている¹⁾。この場合、空洞周辺の岩盤には高温の影響により熱ひずみ、熱応力が発生することが予想され、空洞の安定性が問題となる。本研究では、高温の影響下における熱応力の計測法の開発を目的とし、三次元の応力測定が可能なひずみゲージ式の計測器を試作し、それを用いて室内実験を行い、計測器の性能および計測法の信頼性についての検討を行った。

2. 計測の原理

本研究では、高温物質貯蔵時に、図1に示すように計測点を取り、三次元の主応力を求めることを想定している。まず、二次元応力を求めるためには、一平面内で3方向のひずみ成分とその平面に垂直な方向のひずみ成分を測定する必要がある。平面に垂直なひずみ成分を測定するのは、平面に垂直な応力成分が平面内のひずみにポアソン効果として影響するためである。さらに孔軸方向の2平面のひずみ測定を加えることにより三次元的主応力が求まる。

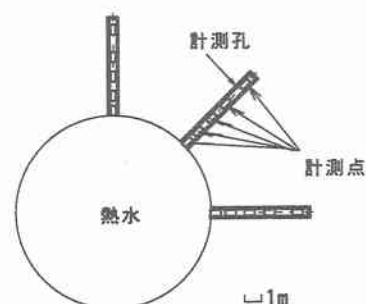


図1 現場計測の概念図

3. 計測器の試作および測定値の取り扱い方

計測器の材料としては、温度分布への影響を軽減するため、塩化ビニルを使用した。計測器の構造を図2に示す。表裏両面にひずみゲージを貼付した塩化ビニルの板を、6つのリングに設置した。これは、板に曲げが生じたとき、それを補正するためである。また、リングを組み合わせる際、板同士の接触を防ぐため、仕切り用のリングを設置した。

また、測定成分と測定平面の関係は図2に示すとおりである。計測孔の直径方向(YZ平面)に関しては、45°間隔に設置した4成分(このうちの1成分は予備ゲージとなる)のひずみと孔軸方向のひずみを組み合わせて測定を行う。これに必要な測定成分は①～④と⑥または⑨の成分となる。孔軸方向のXZ平面とXY

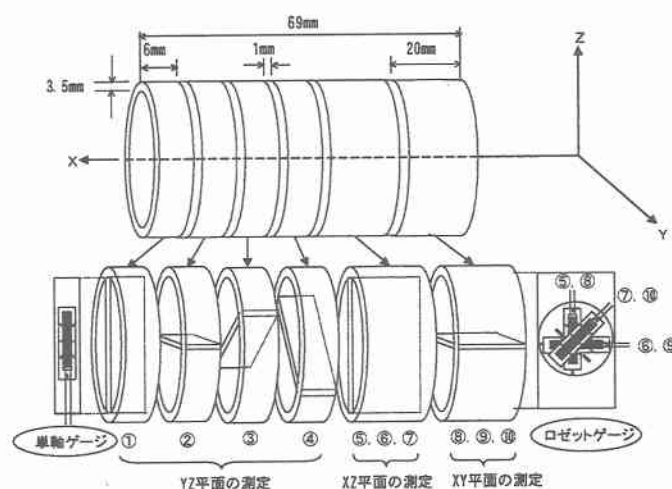


図2 計測器の構造

平面に関する測定成分は、それぞれ⑤、⑥、⑦、②または⑧の成分、⑧、⑨、⑩、①または⑤の成分である。

実験により得られる実測ひずみの値には、岩盤の異方性、計測孔の応力集中などの影響が含まれると考えられる。そのため、二軸等圧載荷試験により、あらかじめ各々のひずみ計成分における応力とひずみの関係を調べておき、それを応力算定時の補正係数として用いることにより、影響を含む測定ひずみを近似的に等方体でのひずみに補正する。

各々のひずみ計のひずみの補正係数を求めるために、YZ 平面、XY 平面、XZ 平面のそれぞれに対して二軸等圧载荷試験を行った。その概念図を図 3 に示す。この結果、計測器の孔軸方向の測定成分である⑥と⑨のみ、引張のひずみを示した。これは、計測器の孔径方向が計測器本体の形状による応力集中の影響を強く受けるのに対し、孔軸方向はその影響をほとんど受けないためであると考えられる。また、孔軸方向のひずみ計は、計測器本体の孔軸方向の変位に追従してひずみを測るという仕組みにより、他の測定成分と比べ極めてその感度が低かったものと考えられる。結果的には、YZ 平面に関する測定成分に関してのみ、ひずみの補正係数を求めることができた。

YZ 平面に関する計測器の精度を評価するために、新たに载荷試験を行い、実際の载荷応力およびその方向と、上述の二軸等圧载荷試験から求めたひずみの感度係数を用いて算出する主応力およびその方向との比較を行った。その結果、応力の誤差は 10% 未満に、角度の誤差は 4° 未満に収まった。

4. 高温の影響を受ける岩盤の応力測定の実験室内模擬実験

計測孔の直径方向に関して、高温の影響下における岩盤の応力

測定の室内模擬実験を行った。実験概念図を図 4 に示す。モルタル供試体に中央に計測器を埋設し、15℃、30℃、50℃、70℃の 4 段階において一軸载荷を行い、ひずみと温度を測定し、実際の载荷応力と応力の計算値とを比較した。

供試体全体をフリーの状態で加熱して得られる実測ひずみ ε_t には、本来の温度によるひずみである線膨張係数分のひずみ ε_n に加え、応力集中などの別の要因による影響ひずみ ε' が含まれると考えられる。ここで、影響ひずみ ε' を次式により定義した。

$$\varepsilon' = \varepsilon_t - \varepsilon_n$$

本研究では、各温度における値をあらかじめ調べておき、上述の実験より得られるひずみから差し引くことにより温度補償を行った後、3 で述べた処理を行い、応力を算出した。

5. 実験結果

室内実験結果を図 5 に示す。温度の上昇に伴い、実際の载荷応力との誤差は大きくなっていることがわかる。この原因としては、塩化ビニルの物性上、熱による影響を受けることにより変形しやすいため、温度によるひずみに対する感度が異なっていることが考えられる。

6. おわりに

三次元応力を求めるためには、孔軸方向の成分について、構造を改良すべきである。また、温度が変化する環境下では、各温度におけるひずみの補正係数を調べる必要があると考えられ、温度補償法の再検討が必要である。

参考文献 1) 稲田善紀：岩盤工学，175～185 頁，森北出版，1997.

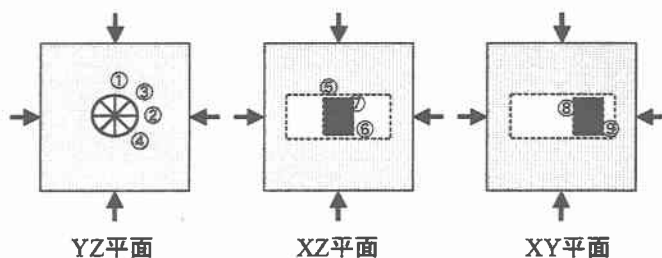


図 3 二軸等圧载荷試験

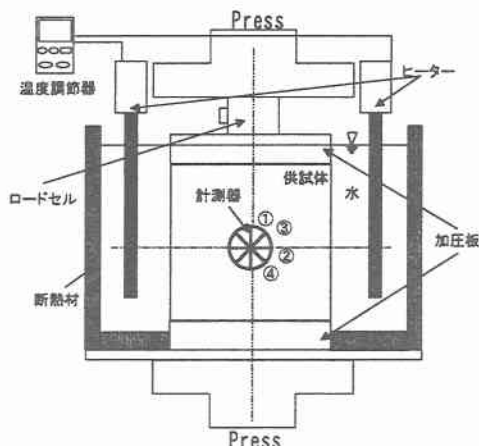


図 4 室内模擬実験の概念図

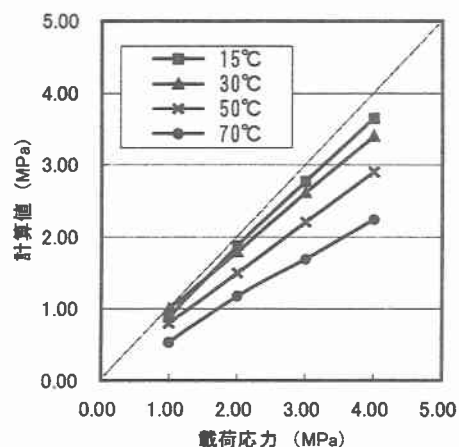


図 5 実際の载荷応力と計算値との比較