

円柱形供試体のひずみ測定に関する実験的考察

EXPERIMENTAL CONSIDERATION ON MEASURING
STRAIN OF CYLINDRICAL SPECIMEN

桜井 春 輔*・水 口 和 彦**

By Shunsuke SAKURAI and Kazuhiko MIZUGUCHI

1. はしがき

岩石、コンクリートなどの一軸および三軸圧縮試験においては、一般に、円柱形供試体を用いられる。ひずみの測定には、ダイヤルゲージ、差動トランス等を用いることもあるが、最も直接的には電気抵抗線ひずみゲージ（以下ひずみゲージとよぶ）を用いる場合が多い。ポアソン比および体積ひずみを測定する場合には、軸ひずみと同時に接線方向のひずみをも合わせて測定しなければならない。接線方向のひずみの測定に対しては、種々の方法が考えられるが、やはりひずみゲージを用いるのが最も簡単であろう。

圧縮試験においては、供試体の端面摩擦の影響を避けるために、直径と高さの比は少なくとも1:2とし、その中央部において、ひずみの測定を行わなければならない。ひずみゲージを用いる場合、ゲージ長は短い方が端面の影響を避けることができるが、一方、材料の非均質性等を考慮するならば、ある最適の長さが存在するようと思われる。さらに、接線方向のひずみ測定用のひずみゲージの長さや円柱形供試体の直径との関係も重要となるであろう。すなわち、変形によって生ずる曲率の変化

が測定値に影響を及ぼすことも考えられる。しかし、円柱形供試体を用いた力学的試験において、そのひずみ測定をひずみゲージによって行う場合の妥当性については、従来あまり検討されていないように思われる。したがって、ここでは円柱形供試体のひずみをひずみゲージによって測定する場合、特に接線方向のひずみの測定値の妥当性について実験的に検討する。

2. 実験方法

実験に用いる供試体は、軟鋼、アルミニウム、鉛などの金属材料、および神戸層群の泥質凝灰岩である。供試体は立方体と円柱形とし、その大きさは表-1に示す。

試験方法は、これらの供試体を高圧三軸セルの中で、油圧により静水圧載荷を行う。ひずみゲージは、図-1に示すように、円柱形供試体に対して軸方向および接線方向に各2枚を相対する面に、一方、立方体供試体に対しては、相隣る3つの面に各2枚貼付する。

使用するひずみゲージは一軸および二軸の箔フェスセルゲージ（共和電業製 KFC-C1 および KFC-D16）であり、ゲージ長は、1, 2, 5, 10, 20 および 30 mm である。

表-1 用いた供試体の種類、形状および大きさ

| 種類 | 形状 | 円柱形 | | 立方体 |
|--------|----|-----------|--------|----------|
| | | 直径 ϕ | 高さ h | |
| 軟 鋼 | | 30 | 30 | 30×30×30 |
| | | 20 | 20 | |
| アルミニウム | | 30 | 30 | 30×30×30 |
| | | 40 | 40 | |
| | | 30 | 30 | |
| 鉛 | | 30 | 30 | 30×30×30 |
| 凝 灰 岩 | | 30 | 30 | 30×30×30 |

単位: mm

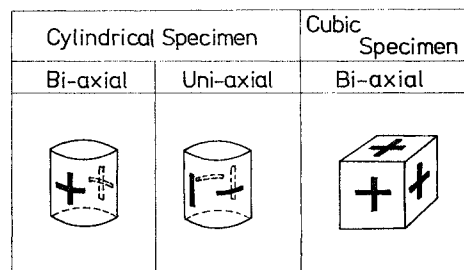


図-1 ひずみゲージの貼付位置

* 正会員 Ph.D. 工博 神戸大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 神戸市交通局高速鉄道部

3. 実験結果およびその考察

(1) 金属材料について

a) 形状の影響

まず、軟鋼の立方体供試体に対する静水圧応力とひずみの関係を図-2に示す。この図から、軟鋼は等方性であることがわかる。なお、ここで用いたひずみゲージのゲージ長は5mmである。次に、軟鋼、アルミニウムおよび鉛の円柱形および立方体供試体に対する応力-ひずみ関係を図-3~5に示す。ここで、立方体供試体においては、すべてのひずみゲージの測定値はほぼ等しく、したがってそれらの平均値を、また一方、円柱形供試体については、軸方向および接線方向のそれぞれ2枚のひずみゲージの測定値を平均して示してある。これらの図から明らかなように、いずれの材料に対しても、円柱形供試体の接線方向のひずみが軸方向ひずみに比較して大きく現われており、明らかに曲率の影響が認められる。なお、円柱形供試体の軸方向のひずみは立方体供試体におけるものと等しく、したがって、円柱形供試体の軸方向ひずみは正しく測定されているといえる。

このような軸方向ひずみと接線方向ひずみとの差は、変形時の曲率の変化によって、ひずみゲージに曲げが生じ、さらに、ひずみゲージの抵抗線がゲージの中立軸と一致していないために生ずる誤差と考えることもできるが、その場合には、いずれの材料に対しても、同一の接線方向ひずみについて同程度の測定誤差でなければならない。しかし、本実験結果は、同一のひずみにに対して、アルミニウムと鉛はほぼ同程度の測定誤差を示しているが、軟鋼に対する測定誤差は、ほかよりも大きくなっている。すなわち、弾性係数が大きいほど測定誤差が大きくなると考えることができそうである。いま、軸方向ひずみは正しい測定値であると考え、接線方向ひずみと軸方向ひずみの差を、軸方向ひずみで割った比を求め、これを体積弾性係数との関係で示すと図-6のようなになる。この図から、測定誤差は体積弾性係数の増加とともに

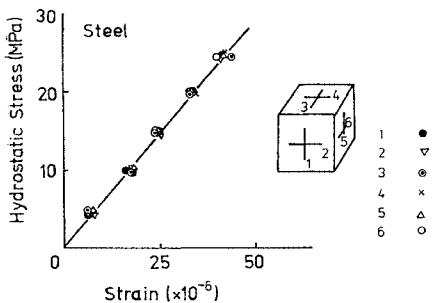


図-2 軟鋼の立方体供試体に対する応力-ひずみ関係

に直線的に増大すると考えることができる。しかし、この原因については明らかでなく、今後の研究に待たなければならない。なお、ここで、体積弾性係数は次式によって求めたものである。

$$K = \sigma_m / 3 \epsilon_1 \dots\dots\dots (1)$$

ここで、

σ_m : 静水圧応力

ϵ_1 : 軸方向ひずみ, あるいは立方体供試体のひずみ

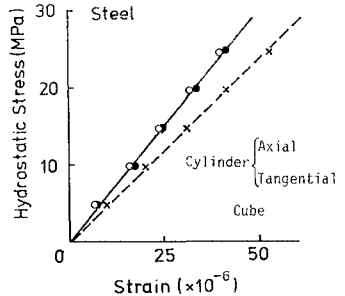


図-3 軟鋼の応力-ひずみ関係

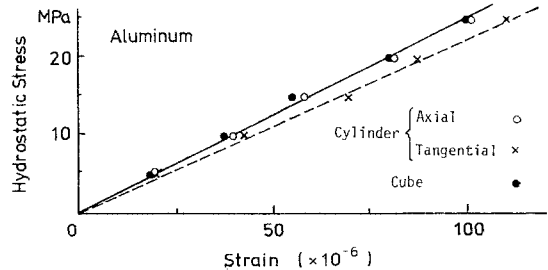


図-4 アルミニウムの応力-ひずみ関係

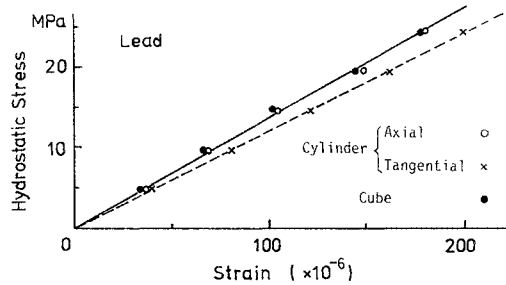


図-5 鉛の応力-ひずみ関係

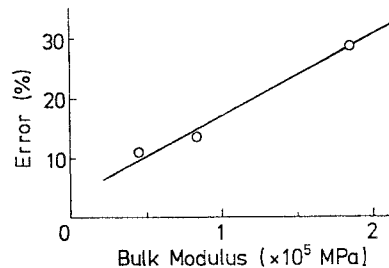


図-6 測定誤差と体積弾性係数

表-2 材料定数

| 材 料 | 体積弾性係数 ($\times 10^4$ MPa) | ヤング係数 ($\times 10^4$ MPa) | ポアソン比 |
|--------|--------------------------------|-------------------------------|-------|
| 軟 鋼 | 185 | 211 | 0.31 |
| アルミニウム | 84 | 76 | 0.35 |
| 鉛 | 46 | 17 | 0.44 |

表-2 に、それぞれの材料に対する体積弾性係数を示す。なお、この表にはポアソン比を仮定して求めたヤング係数をも合わせて示してある。

b) 供試体の直径の影響

円柱形供試体のひずみ測定については、接線方向のひずみの測定に誤差の生ずることが明らかとなったので、次に、接線方向ひずみに対する供試体の直径の影響を調べる目的で、直径の異なる3種類のアルミニウムの供試体(直径: 20, 30, 40 mm)について実験を行った。なお、ここで用いたひずみゲージはゲージ長 5 mm の一軸ゲージである。実験結果を図-7 に示す。この図から明らかなように、いずれの場合も、接線方向ひずみが軸方向ひずみより大きい値となっている。なお、この図を詳細にみると、供試体の直径が小さくなるにつれてひずみは若干小さくなる傾向にあるようであるが、その有意差についてはさらに実験を重ねなければ明らかでない。

c) ゲージの種類の影響

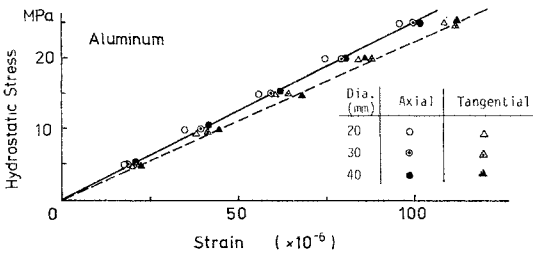


図-7 供試体直径の影響

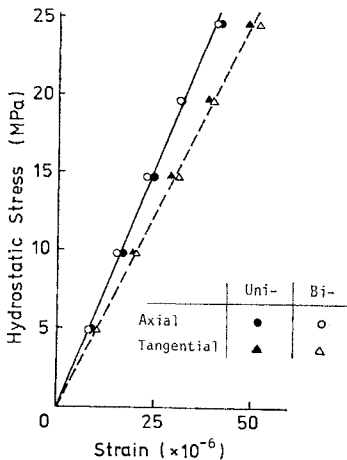


図-8 一軸および二軸ゲージの影響

接線方向のひずみ測定における一軸ゲージと二軸ゲージの差違の影響を調べるために、軟鋼を用いて実験を行った。ゲージ長はともに 5 mm である。測定結果は図-8 に示す。この図から、いずれのゲージを用いても、接線方向のひずみが軸方向ひずみよりも大きく測定されることがわかる。なお、わずかではあるが、一軸ゲージの方が、軸方向と接線方向のひずみが互いに近づく傾向にある。しかしこの有意差については明らかでない。今後さらに検討が必要であろう。

d) ゲージ長の影響

軟鋼の円柱形供試体を用いて、接線方向ひずみに対するひずみゲージの長さの影響を調べた。使用したゲージは一軸用であり、そのゲージ長は、1, 2, 5, 10, 20 および 30 mm である。図-9 に接線方向ひずみと静水圧応力の関係を示す。この図から、ひずみはゲージ長によって影響を受けないことがわかる。なお、30 mm のゲージはその長さが円周のほぼ 1/3 にもなるが、その場合でも、ほぼ同じひずみが測定されている。

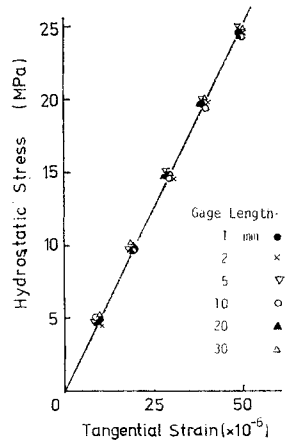


図-9 接線方向ひずみに与えるゲージ長の影響

(2) 凝灰岩について

神戸層群の泥質凝灰岩の静水圧応力状態における応力-ひずみ曲線を図-10 に示す。なお、これは立方体供試体を用いた場合である。軸 ① は堆積層に垂直な方向であり、この方向の弾性係数が、他の方向より小さいことがわかる。この結果から明らかなように、この凝灰岩はほぼ横等方性であるといえる。

一方、円柱形供試体を用いた場合の、静水圧応力状態

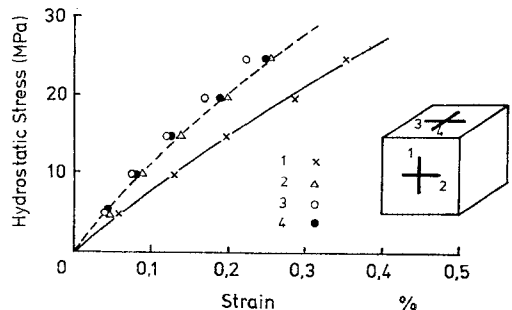


図 10 泥質凝灰岩の立方体供試体に対する応力-ひずみ関係

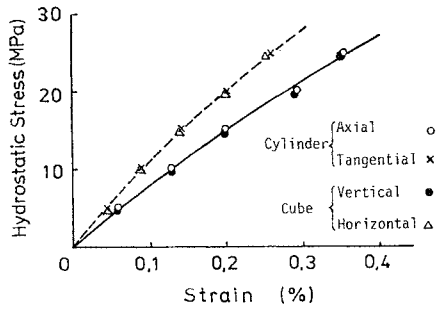


図-11 泥質凝灰岩の応力-ひずみ関係

における応力-ひずみ曲線は 図-11 のようになる。ここで、円柱形供試体の軸方向は、堆積層に垂直な方向、すなわち立方体供試体の鉛直方向と一致させてある。この図には立方体供試体に対する結果をも合わせて示してある。この図から明らかなように、凝灰岩の場合は、立方体供試体と円柱形供試体の差は認められない。

この岩石は異方性であるが、近似的に体積弾性係数を次式によって求めてみよう。

$$K = \frac{\sigma_m}{\epsilon_1 + 2\epsilon_2} = 3 \times 10^3 \text{ MPa} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 ϵ_1 と ϵ_2 はそれぞれ層理に垂直および平行な方向の垂直ひずみである。この体積弾性係数の材料に対して、円柱形供試体を用いる場合に予想される接線方向ひずみの測定誤差は、図-6 から数 % 程度であることがわかる。すなわち、この凝灰岩については、体積弾性係数が十分に小さいため、円柱形と立方体供試体に対する

ひずみ測定値に差が認められないのであろう。

4. 結 論

ここで得られた結論をまとめると次のようである。

- (1) 円柱形供試体のひずみはひずみゲージによって測定するのが容易であるが、接線方向ひずみの測定には測定誤差が入り、実際のひずみより絶対値が大きく測定される傾向にある。
- (2) 接線方向ひずみの誤差は、材料の体積弾性係数と関係があり、体積弾性係数の増加とともに直線的に増大するようである。
- (3) ここで用いた円柱形供試体（直径 $\phi=20\sim40$ mm）に対しては、軟鋼の場合に接線方向のひずみ測定値の測定誤差は約 30% にもなる。
- (4) 体積弾性係数が $K=10^4$ MPa 以下の材料では、接線方向ひずみに含まれる測定誤差は無視することができる。
- (5) ここで行った実験の範囲では、ひずみゲージの種類（一軸あるいは二軸ゲージ）およびゲージ長は測定値に大きな影響を及ぼさない。

謝 辞：実験の実施において、神戸大学工学部岩盤力学研究室の学生諸君に種々ご協力いただいた。ここに感謝の意を表する。

(1980.8.29・受付)