

## 1. 研究の目的と方針

岩盤の力学的特性も原位置において比較的容易に測定できる方法に孔内載荷試験がある。現在までの孔内載荷試験法では、高圧力で載荷板を押し出せないため岩盤に適用することが難しかったが、当研究室の孔内載荷試験機は載荷板圧330kg/cm<sup>2</sup>まで出せ岩盤にも適用できると思われる。本実験では花崗岩、安山岩、凝灰岩を対象として実験を行ない、適用にあたっての問題点、推定変形係数の精度などを調べることを目的とする。方針として、孔内載荷試験機による室内模擬原位置試験を行ないそれによって求めた変形係数と一軸圧縮試験による変形係数を比較し、面変形係数の差を知りその差の原因を推定する。

## 2. 研究の方法

### (1) 孔内載荷試験機

試験機の概要は、図1に示す。試験機は、鋼鉄製で長さ40cm、直径7cmの円柱状をしており、そこから油圧によって3×25cmの載荷板が出てくるしくみになっている。この試験機をボーリング孔に入れ油圧で載荷板を押し出す。この載荷板の変位と油圧との関係から地山の变形係数を算出する。

### (2) 実験装置と岩石供試体

実験装置を図2に示す。外枠は鉄筋コンクリート製である。側圧はシリンダー内油圧250kg/cm<sup>2</sup>の油圧ジャッキ2本を使った。岩石が硬いため、供試体に完全な円柱形の孔を削孔することができなかった。このため載荷板の一部しか岩石に接触せず問題点となった。載荷板にガムテープをつけ試験をし、どの程度載荷板と岩石が接触しているか調った。岩石供試体の大きさは大体60cm×60cm×30cm、穴は直径7.6cmである。岩石供試体には、無傷の花崗岩、安山岩、多孔質の大谷凝灰岩を使った。

### (3) 変形係数の算出式

孔内載荷法による供試体内の応力分布は単純な一様応力状態ではない。このため孔内載荷試験法による応力-変位曲線から変形係数をもとめる算出式が必要となる。この算出式として三木幸蔵らは、次のブーゼネスクの理論式を使っている。

$$E_B = B \cdot (1 - \sigma^2) \cdot \frac{\Delta P}{\Delta r} \cdot I_B$$

$E_B$  = ブーゼネスクの式による変形係数 (kg/cm<sup>2</sup>)、 $\Delta P$  = 荷重圧力差

(kg/cm<sup>2</sup>)、 $\Delta r$  = 載荷板変位 (cm)、 $\sigma$  = ポアソン比、 $B$  = 載荷板幅、 $C = L/B$ 、 $L$  = 載荷板長さ (cm)、

$I_B = \{ C \cdot \ln(1 + \sqrt{C^2 + 1}/C) + \ln(C + \sqrt{C^2 + 1}) \} / \pi$

この式は図3(C)に示すように元来弾性体の無限平板上に長方形均一荷重を加えた時の、荷重と変位の関係を表わす式であるから、一定の曲率をもつ曲面上に載荷する場合の関係式としては完全な式とは言えない。この点を

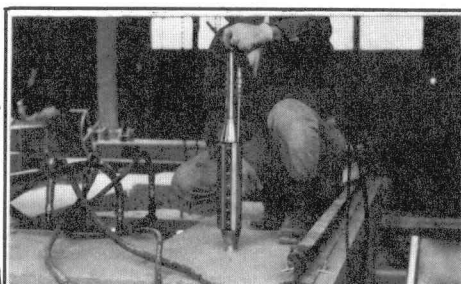


図1 孔内載荷試験機

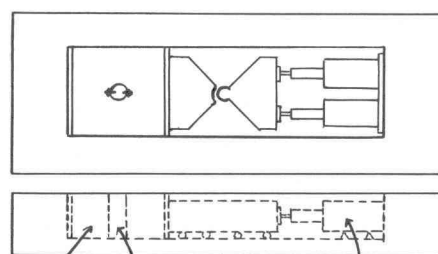


図2 実験装置

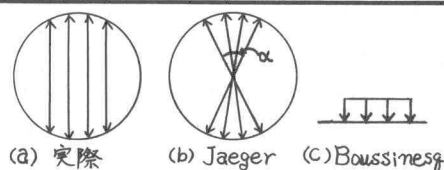


図3 算出式の表わす状態

改善するため図3(b)のジェーガーの式<sub>2)</sub>を使うことを試みた。

$$E_J = R \cdot (1 + \alpha) \cdot \frac{\Delta P}{r} \cdot I_J$$

$E_J$  = ジェーガーの式による変形係数 ( $\text{kg/cm}^2$ ),  $R$  = 孔の半径 ( $\text{cm}$ ),  $\alpha$  = 載荷板の角度 (ラジアン),  $V$  = 平面応力状態のとき  $(3 - \alpha)/(1 + \alpha)$ ,  $I_J = [-2\alpha - \nu \{(\pi \cos \alpha)/2 + \sin \alpha \ln \cot \alpha/2 - \pi/2 + \alpha\} - \{\pi/2 - \alpha - (\pi \cos \alpha)/2 + \sin \alpha \ln \cot \alpha/2\}]/\pi$ , これら二式からもとめた変形係数の比較は後に行なう。

3. 研究の結果

| コア<br>N0 | 岩石名 | 比重   | ポアソン<br>比 | 一軸圧縮<br>強度<br>Kg/cm <sup>2</sup> | 一軸圧縮<br>変形係数<br>Eu×10 <sup>4</sup> Kg/cm <sup>2</sup> | 孔内載荷変形係数 ×10 <sup>4</sup> Kg/cm <sup>2</sup> |        |            |        | Eu<br>/<br>Eb | Eu<br>/<br>Ej |
|----------|-----|------|-----------|----------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------|------------|--------|---------------|---------------|
|          |     |      |           |                                  |                                                       | ブーゼンスクの式 Eb                                  |        | ジェーガーの式 Ej |        |               |               |
|          |     |      |           |                                  |                                                       | ガムテープ有                                       | ガムテープ無 | ガムテープ有     | ガムテープ無 |               |               |
| 3        | 花崗岩 | 2.64 | 0.17      | 1080                             | 30.5                                                  | 5.13                                         |        | 6.58       |        | 5.95          | 4.64          |
| 5        | 花崗岩 | 2.65 | 0.15      | 1280                             | 41.4                                                  | 4.47                                         |        | 5.68       |        | 9.26          | 7.29          |
| 6        | 花崗岩 | 2.65 | 0.28      | 1660                             | 52.8                                                  | 4.38                                         |        | 5.97       |        | 12.05         | 8.84          |
| 9        | 安山岩 | 2.73 | 0.18      | 2400                             | 65.6                                                  | 8.07                                         | 9.47   | 10.36      | 12.22  | 8.13          | 6.33          |
| 10       | 安山岩 | 2.73 | 0.17      | 2830                             | 49.6                                                  | 5.43                                         | 8.88   | 6.97       | 11.40  | 9.13          | 7.12          |
| 11       | 安山岩 | 2.71 | 0.25      | 2770                             | 50.7                                                  | 7.34                                         | 7.79   | 9.82       | 10.42  | 6.91          | 5.16          |
| 15       | 凝灰岩 | 1.45 | 0.18      | 75.5                             | 3.17                                                  | 1.15                                         |        | 1.48       |        | 2.76          | 2.14          |
| 17       | 凝灰岩 | 1.44 | 0.10      | 96.3                             | 3.57                                                  | 1.35                                         |        | 1.70       |        | 2.64          | 2.10          |
| 18       | 凝灰岩 | 1.46 | 0.09      | 68.6                             | 2.49                                                  | 1.22                                         |        | 1.53       |        | 2.04          | 1.63          |

結果をみるとすべての供試体で、一軸試験によってもとめた変形係数の方が孔内載荷によってもとめた変形係数よりも大きい。これについて考察した結果、下記のような原因が考えられた。

(1) 理論上当然生ずる誤差

上の二つの算出式はともに完全に試験条件に合致しているとは言えない。したがって、弾性論より完全な算出式を導くことが今後の重要な課題の一つとなる。

(2) 実験上の誤差

まず第一に孔内載荷試験機の載荷板と岩石供試体との接触不良による誤差が考えられる。図4にその接触状況を示す。接触面積が小さいほど変形係数は小さくなっていく。軟岩である凝灰岩はすべての場合載荷板全面に岩石が接触しており、その結果一軸圧縮試験と孔内載荷試験との差が他種の岩石よりも小さい。花崗岩、安山岩においては接触面積の小ささと孔内載荷試験による変形係数の小ささとは相関係数で0.56という相関を示した。(自由度 = 7) 将来回帰直線による接触不良の補正は可能であると思われる。接触不良の原因としては、孔壁の内面の凸凹によること、岩石の孔の曲率と孔内載荷板の曲率が異なっていることが考えられる。これらを理想的な状態にするには実験室においてすら難しく現場ではさらに困難であると思われる。またその他の原因による誤差についても検討が必要である。

以上の誤差原因について改善を施せば、軟岩において孔内載荷試験は十分適用性があると考えられた。

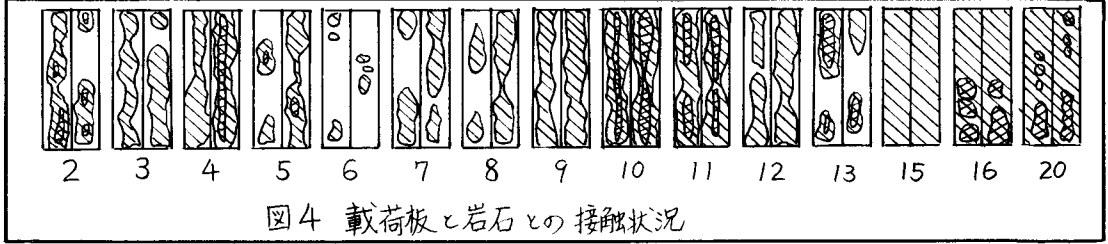


図4 載荷板と岩石との接触状況

- 1) 三木幸蔵, 超高压KKT試験機による岩盤強度の測定について, 土と基礎 (1973, June)
- 2) J.C.Jaeger, Fundamentals of Rock Mechanics (242P), Methuen (1968)