

V-27 岩質材料の試験に関する2,3の考察

京都大学 正眞 小林 昭一

1. はじめに

材料試験においては、目的とする材料の力学特性を適確に取り出すこと故に、試験方法ならびに操作ができるだけ簡単で、かつ正確な計測が行なえることが必要である。また、試験結果を解釈する上からは、できるだけ簡単な応力ないし変形ひずみ分布を生じることが望まれる。このような観点からは、一様応力状態を生じることによる試験が最も好ましい。このためには、油圧ないし空気圧などによる応力負荷形式の試験によらなければならないけれども、現実には主応力が異なるような一様応力状態を生ぜしめることは容易ではなく、また大容量の試験装置を製作することも困難である。

一般の岩質材料は、幾何学的に複雑な形状を有する同質ないし異質物質の結晶ないし混合体であり、従って、局所的な影響を排除する意味でも相当大きな供試体が要求されることになる。このような点を考えると、実際問題としては、岩質材料の試験には応力負荷形式のものだけでは不十分である。

このような理由から、ほとんどの試験装置は加圧盤を介して負荷する、いわゆる変形負荷(固体負荷)の形態を取っている。

一般に圧縮変形負荷の場合には、よく知られているように供試体内の応力分布は供試体端面と加圧盤間の摩擦の影響を受けて、一様応力状態にはなり難く、またよく用いられる割裂試験の供試体内の応力分布はもちろん一様状態ではない。しかしながら、我々はこれらの試験法により材料特性を求めなければならないから、できるだけ一様応力状態に近づけるように試験方法を改良すると共に、これらの試験により生じる供試体内の応力分布を詳細に検討しておくことが必要である。

実際の材料試験においては、供試体内の応力分布に影響を及ぼす因子⁽¹⁾は、負荷方法に伴う拘束の他に、材料特性そのもの、すなわち、弾性係数、Poisson比、材料の構造特性などが考えられる。後者の影響は、従来の弾性学(古典弾性学)では推定することができなかったが、最近急速に発展してきたマイクロ弾性学により、或る程度の推定は可能となった。

本報では、まず、a)圧縮供試体の応力分布に及ぼす供試体端面摩擦の影響を検討し、一づいて、b)圧縮試験、割裂試験およびインデレーション試験の各供試体内の応力分布に及ぼす材料特性の影響を、マイクロ弾性学のうちで最も簡単な線形カップルストレス理論に基づいて検討する。さらに、c)圧縮供試体の応力分布に及ぼす異質性ならびに異質性カップルストレスの影響を検討し、最後に、岩質材料の試験結果の解釈について考察を加える。紙面の都合で、詳細を論じる余裕がないので、ここでは、a)~c)について得られた一応の結論のみを列挙しておく。詳細は文献を参照されたい。

2. 圧縮供試体内の応力分布に及ぼす端面摩擦の影響⁽¹⁾

供試体端面と加圧盤間に一定の摩擦が存在する場合について、摩擦係数を種々変化させた時に生じる供試体内の応力分布を有限要素法により解析した。主な結果は次のようである。

i) 供試体端面の摩擦係数 μ が小さい程、またPoisson比 ν が小さい程、供試体内の応力分布は一様となる。

- 2) μ がある値より小さいと、供試体端面は部分的に滑動し、そのために端面のせん断応力分布は階段状となる。
- 3) 完全拘束の場合には、端面拘束の影響は端面から供試体の全幅程度まで及ぶ。この場合の端面における主応力の傾きは、供試体軸から計って、高さ幅比 $h=2.0$ の円柱供試体では $\nu=1/6$ で最大 13° 、 $\nu=1/3$ で最大 26° 程度となる。
- 4) ν と一定とすると、供試体端面が滑動しないような μ が存在する。 $h=2.0$ とすると、平面ひずみの直方供試体では $\nu=1/6$ の場合、この臨界摩擦係数は $\mu_c=0.25$ 、円柱供試体では、 $\mu_c=0.26$ である。
- 5) 見掛けの弾性係数は、 h, ν, μ に影響される。 $h=2.0$ で、 $\nu=1/3$ の方が $\nu=0$ の場合より、3.4% 小となる。

3. 圧縮供試体内の応力分布に及ぼすカップルストレスの影響²⁾

剛体加圧盤を用いて圧縮した供試体内の応力分布を線形カップルストレス弾性論に基づいて解析した。結果を要約する。

- 1) カップルストレスの特性を示す微分要素の曲げ剛性パラメーター ℓ が小さくなれば、古典弾性学の結果に近づく、大くなればカップルストレスの効果は顕著となる。 ℓ が小さくなればなる程、応力分布は一樣に近づく。
- 2) カップルストレスの影響は、供試体の境界部分に限られる。境界から遠ざかるにつれて急激に減少する。
- 3) Poisson 比が大きい程、応力の大きさは小さく、小さい程 応力分布は一樣に近づく。
- 4) 応力の大きさは ℓ にも左右される。同じ大きさの ℓ に対しては、 ν が大きい程 応力の大きさは大となる。
- 5) 見掛けの弾性係数は、 ν が小さくなれば減少し、 ℓ が大となれば更に急激に減少する。

4. 割裂試験供試体内の応力分布に及ぼすカップルストレスおよび載荷幅の影響³⁾

線形カップルストレス弾性論に基づいて、Fourier-Bessel 展開法により解析した。主要結果を示す。

- 1) ℓ が小さければ、古典弾性学より得られる応力分布に近い。 ρ/a (a : 円柱半径) が増加するにつれて応力の大きさは減少し、円外縁から圧縮に移行する又は円柱中心に近づき、 σ_θ は荷重境界で引張となる。例えば、 $\rho/a=0.2$ では、 σ_θ は古典弾性学より求めた値の 0.5, 0.8 程度となる。
- 2) 荷重に垂直な断面上の応力は、 ℓ が増大するにつれて、更に一樣化される。
- 3) 載荷幅が増加すると、 σ_θ の零点が中央に近づき、また圧縮応力は一樣化される。 ℓ が大きい程著しい。
- 4) Poisson 比が大きい程、 σ_θ, σ_r の大きさは小さくなる。しかし、余り顕著ではない。

5. インテンテーション試験供試体内の応力分布に及ぼすカップルストレスおよび載荷幅の影響⁴⁾

主要結果は 4. とほぼ同様であるので省略する。

6. 圧縮供試体内の応力分布に及ぼす異方性ならびにカップルストレスの影響

直交異方性供試体内の応力分布を、差分法により two-way SOR 法を用いて求めた。主要結果を示す。

- 1) 応力分布は一般に異方性の場合に比して不均一になり、弾性係数が大きい主軸方向に大きな力が伝達される。
- 2) カップルストレスは、応力分布を均一化するよう作用する。その他は、3. とほぼ同様である。

参考文献: 1) 中村, 小林, 中川; 材料, 29, 196, pp. 63-69 (昭和45), 2) Niwa, Kobayashi & Moritake; Memo. Faculty of Eng., Kyoto Univ. 33, pp. 35-50 (1971), 3) Niwa, Kobayashi & Fukui; Memo. Faculty of Eng., Kyoto Univ. 33, (in press), 4) 小林, 森竹; 材料 (印刷中)