

Ⅲ-24 寸法効果における偏心圧縮の影響について

日本大学工学部 正員 田野 久 貴

1. まえがき

一軸圧縮強度に関する寸法効果の傾向は多様であり、そこには材料固有のバラツキの他に、実験誤差によるバラツキも含まれると考えられている¹⁾。一方、寸法効果を従来体積で議論する傾向にあったが、高さや断面積に個別のウェイトを与えることにより、寸法効果の多様性を説明し得る簡潔な式を既に導いた²⁾。そこには、上記の実験誤差によるバラツキも考慮されている。本文では、その結果を用いて具体的にどの程度誤差が影響を与えているかを検討したのでこれを報告する。

2. 実験誤差を考慮した寸法効果の関係式

多様性を表現し得る静的確率モデルとして、並列要素を有するモデルを用いることにより前節において論じた破壊様式と対応させつつ、多くの影響因子のうち偏心問題をそこに取り入れて考察した。

$$\frac{\sigma_2 - \sigma_m}{\sigma_1 - \sigma_m} = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^t \frac{1}{\sqrt{1 + \chi^2}} \quad (1)$$

$$\chi = \frac{S_1^*}{S_m} \quad (2)$$

ここに、 σ_1 および σ_2 は寸法 d_1 および d_2 に対応する強度、 σ_m は材料固有の圧縮強度、 t は直径 d に関するパラメータである。

この式(1)によって、任意の寸法の試験片の強度および非常に大きな試験片の寸法効果、すなわち、岩盤としての固有の圧縮強度(σ_m)を計算することも可能である。

これから明らかなように、寸法効果は純粹の“寸法”による効果と、“偏心圧縮によるバラツキ”の効果の積で示されることがわかる。現場サイズの大きな寸法の一軸圧縮試験に関する報告例は極めて少なく、ここでは前述したBieniawski²⁾の結果を用いる。表1に示す石炭の立方体の辺長(cm)と圧縮強度に関するデータのうち、二組のデータに注目する。すなわち、 $d_1=6.6\text{cm}$ 、 $\sigma_1=321.7\text{ kgf/cm}^2$ を用い、また、式(1)を導くにあたっての $d_2 \rightarrow \infty$ を考慮して、 $d_2=121.1\text{cm}$ 、 $\sigma_2=45.7\text{ kgf/cm}^2$ を用いる。二三の計算の結果、この場合のパラメータとして $t=1$ 、 $\chi=1.5$ を採用した。これらの値を式(1)に用いることによって、 $\sigma_m=37\text{ kgf/cm}^2$ が得られる。これを(σ_m)を用いて、これら以外の寸法の強度を求めた結果を図1に示す。また、図2は石英閃緑岩に関するPrattら³⁾の結果に同様にして得られる、式(1)による計算値をプロットしたものである。Prattらについては $\chi=2.0$ を用いた。図1および図2より、式(1)は寸法の大きな範囲において既往の実験値とよく一致していると言えよう。一方、寸法の小さい範囲では実験値と外れる傾向にあるが、これはについては次において検討する。

3. 圧縮偏心によるバラツキと寸法の関係の検討

前述したように、小寸法の場合は計算値はこれらの実験値と外れる傾向にあるが、これは式(1)が $d_1 \ll d_2$ ($S_2^* \div 0$)と仮定して得られたことによるものと思われる。すなわち、以上の計算ではパラメータ χ を小寸法の場合にも固定($\chi=1.5$)しているが、その場合は S_2^* が一般に0とは見なせないと考えられる。すなわち、小寸法の場合には式(3)に示す第1式の分子(S_2^*)が無視できないから、その第2式の分子の y で示すようなある値を持つはずである。そして、この y は寸法 d_2 が小さいほど大きい。

$$\frac{1 + \left(\frac{S_2^*}{S_m} \right)^2}{1 + \left(\frac{S_1^*}{S_m} \right)^2} = \frac{1 + y^2}{1 + \chi^2} = \frac{1}{1 + (\chi')^2} \quad (3)$$

したがって、式(3)の第3式のようにその分子を1として、式(1)を用いる場合には、相対的に分母($(S_1^*/S_m)=\chi$)を小さく χ' とすることにより、偏心のバラツキにもとづく寸法効果を評価できると考えられる。そこで、実質的に(S_2^*/S_m)が1より大きくなるように χ を先の1.5以下として、各寸法の強度に比較的良

く一致するようにして得られた χ の修正値 χ' と強度の計算値を表1に示す。

各バラツキ S^* は S_m との比として得られるので、各寸法の S^* を最小寸法($d_1=6.6\text{cm}$)のそれで除して比較すると図3のようになる。すなわち、同図は偏心にもとづくバラツキが、試験片寸法の増加によって減少する状況を示している。これによると、立方体の一辺がおよそ16cmを越えると、偏心による影響は急速に小さくな

立方体の辺長	パラメータ	圧縮強度 (kgf/cm ²)	
d (cm)	χ (x')	計算値	Bieniawskiのデータ
6.6	1.5 (0)	194.9(321.7)	321.7
7.6	1.5 (0.1)	174.1(283.0)	286.0
15.2	1.5 (0.9)	105.8(128.9)	130.1
30.5	1.5 (1.0)	71.1(80.6)	81.4
45.7	1.5 (1.1)	59.8(84.7)	84.0
61.0	1.5 (1.3)	54.1(55.8)	56.3
71.1	1.5 (1.4)	51.7(52.4)	54.4
91.4	1.5 (1.4)	48.4(48.9)	49.9
121.9	1.5 (-)	45.7(-)	45.7
152.4	1.5	43.8	45.2
∞	1.5	37.0(固有の強度)	-

表1 Bieniawski²⁾のデータによる計算結果

ることがわかる。これらの各点は一つの曲線上に在るようにも解釈されるが、また、二本の直線によっても表し得るようである。後者の場合、その特性の変化点は前述の寸法16cm付近である。図4は同様にして得られた、図2のPrattら³⁾によるデータに基づく結果である。先の結果とはやや異なるが、ほぼ類似の傾向を示している。先のBieniawski²⁾の寸法効果を検討した結果、例えば、辺長 $d_1=6.6\text{cm}$ の小寸法のとき、 χ すなわち、実験誤差のバラツキに対する材料固有のその比が1より大きい($\chi=1.5$)ことが示された。これは、西松ら⁴⁾が指摘しているように、実験誤差の方が、材料固有のそれより大きいことを示すものであり、小寸法のときほど顕著であることがわかる。

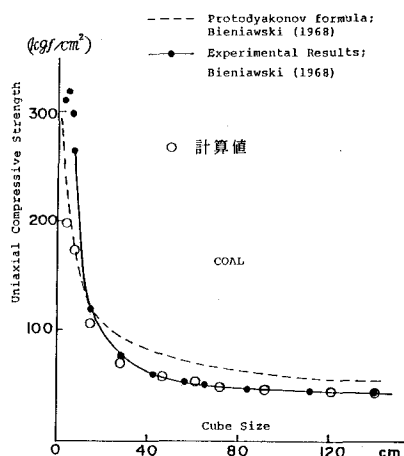


図1 Bieniawski²⁾のデータと
計算結果の比較

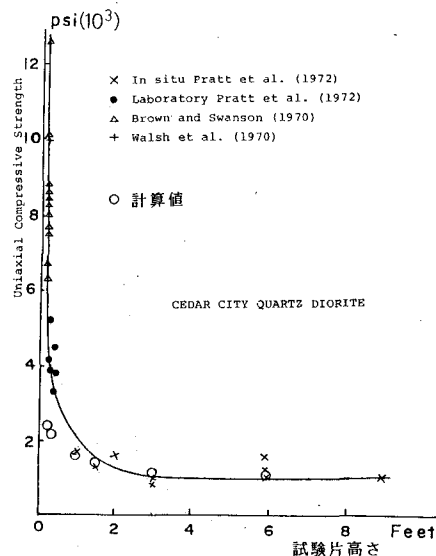


図2 Prattら³⁾のデータと
計算結果の比較

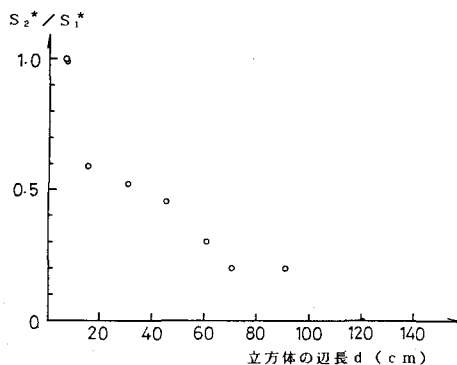


図3 実験誤差によるバラツキの
寸法による変化 (図2による)

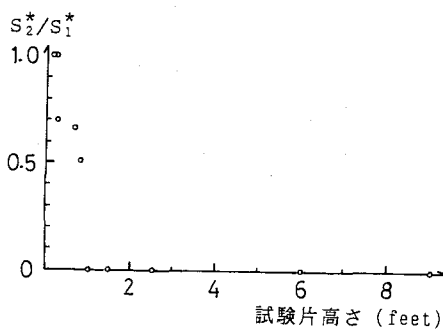


図4 実験誤差によるバラツキの
寸法による変化 (図1による)

1) Tano, H. and Satake, M.: Statistical analysis of the size effect with a strain gradient in the uniaxial compression test, Proc. 5th Int. Congr. on Numerical Methods in Geomechanics, Nagoya, pp. 495-502, 1985. 2) Bieniawski, Z.T.: The effect of specimen size on compressive strength of coal, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 5, pp. 325-335, 1968. 3) Pratt, H.R., Black, A.D., Brown, W.S. and Brace, W.F.: The effect of specimen size on the mechanical properties of unjointed diorite, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 9, pp. 513-529. 4) 西松, 山口, 他: 岩石の寸法効果と測定精度, 材料, Vol. 18, No. 194, pp. 1019-1025.