

III-A 338

岩石供試体の力学的挙動に端面拘束が与える影響

名古屋大学工学部	正会員	清木隆文
韓国安東大学地質学科		鄭 教澈
琉球大学工学部	正会員	渡嘉敷直彦
東海大学海洋学部	正会員	アイダン・オメル
名古屋大学工学部	正会員	市川康明

1. はじめに

岩石試験の計測データは、(a) 試験機の加圧盤と岩石供試体との間の摩擦、(b) 供試体の形状 [(i) 形, (ii) 直径(幅)に対する高さの比, (iii) 寸法]、(c) 荷重載荷の速度、(d) 試験環境 [周辺の温度、湿度 e.t.c.] のような外的な因子に影響を受けると言われている¹⁾。また、今までに多くの研究者^{2),3),4)}によって実験供試体の寸法効果について議論されているが、その多くが破壊後の挙動についてであり、弾性挙動については言及されていない。そこで本報告では、(a)と(b)の(ii)、(iii)に注目し、実験装置の載荷盤と供試体の端面が、1) 十分滑らかな場合、2) 完全に密着する場合について考慮し、一軸圧縮試験における弾性範囲内の挙動を再現するために、軸対称FEM弾性解析を行う。その結果から、供試体内部の応力分布状況についてまとめる。

2. 軸対称有限要素解析⁵⁾

ここでは等方・均質の実験供試体の端面が、同じ断面形状で一定厚さの載荷盤を介して一軸圧縮されることを想定した。以下に示す4つの解析条件を考慮して円柱供試体をモデル化し、上部載荷盤に強制変位を与える境界条件のもとで、FEM軸対称弾性解析を行った(図-1)。そして解析結果を引張を正として、供試体内の最大主応力、最小主応力、最大せん断応力の分布についてまとめた。なお、載荷盤周辺部の応力集中に伴う実験供試体の降伏・破壊は考えないものとした。

供試体端面と実験装置の載荷盤との端面拘束 実験供試体の端面と実験装置の載荷盤との接触条件を取り入れて数値解析を行うにあたり、(a) 供試体の端面と載荷盤が完全に密着している場合、(b) 供試体の端面が十分滑らかで、載荷盤に拘束されない場合について考えた。解析上の接触面は、載荷盤と供試体の境界面を表現するためにジョイント要素⁵⁾を採用した。なお、解析を行うための材料定数として載荷盤、岩石供試体のポアソン比をそれぞれ0.30、0.15とした。

供試体と載荷盤の剛性比 載荷盤の弾性係数を一定のもとで、供試体の弾性係数を載荷盤の弾性係数 E_S と供試体の弾性係数 E_R との比が10:1(硬岩)、100:1(軟岩)、1000:1(砂、粘土)となるように変化させて、剛性の違いによる端面拘束の影響について考察した。

供試体の高さ(直径)の比 円柱供試体の高さ(H)と直径(D)の比が変化する場合に、応力分布の現れ方の違いを把握するために、H:Dを1:1、2:1、3:1、4:1の4段階に変化させた。

H/D比一定のもとH、Dの長さを変化させる場合 円柱供試体の形状が同一で寸法が変化した場合に、寸法効果の有無を検証するため、前節に示した各H/D比について、HとDの長さがそれぞれもとの長さの2倍、3倍(例えばH:D=1:1、2:2、3:3)となるように有限要素メッシュを作成した。

3. 解析結果および考察

解析結果を整理する際、供試体内に内在する最大主応力の最大値、最大主応力の最小値でそれぞれを正規化すると共に、その値を用いて最大せん断応力を計算して図示した(図-2)。

供試体端面と実験装置載荷盤との端面拘束の影響 端面非拘束の場合、応力分布は供試体内ではほぼ一様である。一方、端面が完全拘束された場合は、供試体端面の角から供試体中央部に向かってアーチ状に等応力線が分布し、供試体中央部で一様分布となる。特に載荷盤の角と供試体が接触している部分において応力が集中す

る傾向が見られた。ここでそれぞれの破壊形態を推測すると、供試体端面が完全拘束されている場合の破壊は供試体端面付近から始まり、拘束されない場合は縦割り破壊となると考えられる。

供試体と载荷盤の剛性比の影響 供試体の端面が完全拘束されている場合、剛性比が変化しても、正規化された最大、最小主応力の分布傾向にあまり差は見られない。特に最大せん断応力の分布は、供試体の剛性が下がる程、その値が小さくなり、供試体中央部から端部付近にかけて一様となる傾向を示す。

供試体の高さと幅(直径)の比の影響 供試体の高さ(H)と直径(D)との比を変化させた場合、直径に比べて供試体高さが高くなるほど、供試体端部が拘束される影響を受けにくく、供試体中央部から側面にかけて応力が一様な分布傾向を示す領域が増加する。

H/D比一定のもとでH、Dの長さを変化させた場合の影響 各長さを変化させた場合の応力比分布を見る限りにおいて、有意な差は見られず、寸法効果の影響をみることができなかった。

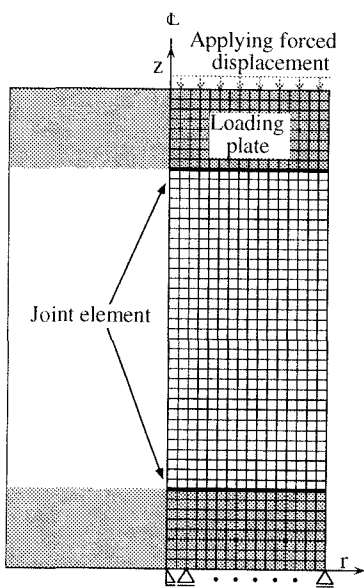


図-1 軸対称有限要素メッシュ
($H : D = 1 : 1$, 要素数 800, 節点数 867)

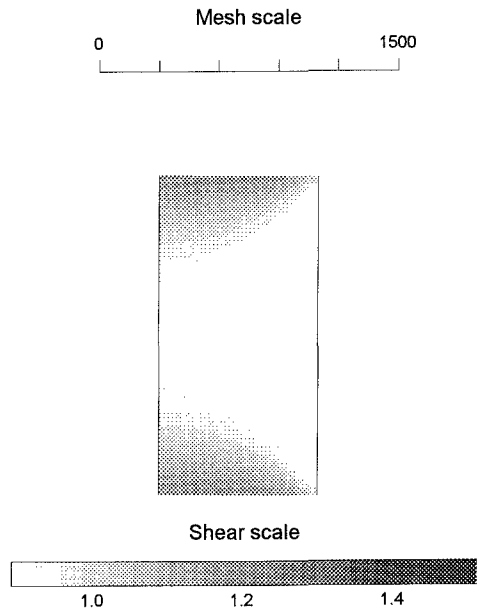


図-2 最大せん断応力の分布
(端面完全拘束、 $H : D = 1 : 1$,
 $E_S : E_R = 100 : 1$)

5. 参考文献

- 1) Lama, R. D., Vutukuri, V. S., Saluja, S. S. : 岩の力学的性質 I (増田秀夫, 田中荘一訳), 古今書院, 1992.
- 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) Hudson, J. A., Brown, E. T., Fairhurst, C. : Shape of the Complete Stress-Strain Curve for Rock, Proc. 13th Symp. on Rock Mechanics, pp.773 ~ 795, 1971.
- 4) Lundborg, N. : The Strength-size Relation of Granite, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol.4, pp.269 ~ 272, 1967.
- 5) Yuan, Z., Chua, K. M. : Exact Formulation of Axisymmetric Interface-element Stiffness Matrix, J. Geotech. Eng. ASCE, Vol.118, No.8, pp.1264 ~ 1271, 1992.
- 6) 清木隆文, アイダン・オメル, 鄭 教澈, 渡嘉敷直彦, 市川康明 : 岩石供試体の力学挙動に端面拘束が与える影響について, 第27回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.231 ~ 235, 1996.