

Ⅲ-12

均質化法による岩盤の平均弾性係数と不連続面分布の関係に関する数値解析的考察

東北大学 学生員○石倉 大士
東北大学 学生員 白 鐘
東北大学 正 員 京谷 孝史

1 はじめに

岩盤には大小様々な不連続面が無数に存在している。そのため、岩盤に構造物を構築する際には、この不連続面の影響を考慮する必要がある。

本研究では、節理のような規則的なき裂群をモデル化し、数学的手法である均質化法を用いて、き裂分布が材料の弾性係数に及ぼす影響を調べるとともに、それらの結果をわかりやすく整理して、岩盤中のき裂群の分布状況から岩盤の巨視的弾性係数を推定する法則を提示することを目的とする。

2 均質化法の概要

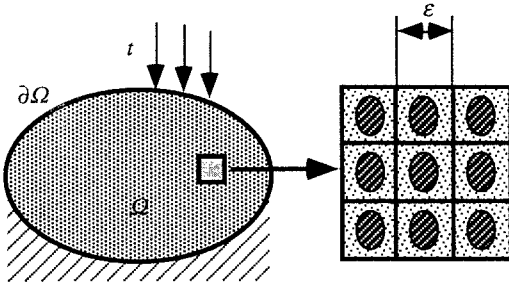


図-1 材料の微視的構造

図-1 に示すような微視的周期構造を有する材料を考える。その単位格子をユニットセルと呼ぶ。このような材料の平均弾性係数及び物体力は次式で与えられる。

$$E_{ijkl}^H = \frac{1}{|Y|} \int_Y \left(E_{ijkl} - E_{ijpq} \frac{\partial \chi_p^{kl}}{\partial y_q} \right) dy$$

$$f_i^H = \frac{1}{|Y|} \int_Y f_i dy \quad (1)$$

ただし、 $|Y|$ はユニットセルの体積であり、 χ^{kl} は特性変位関数と呼ばれ、ユニットセル内で成立する次式を満足するものである。

$$\int_Y E_{ijpq} \frac{\partial \chi_p^{kl}}{\partial y_q} \frac{\partial v_i}{\partial y_j} dy = \int_Y E_{ijkl} \frac{\partial v_i}{\partial y_j} dy \quad (2)$$

3 材料のモデル化

本解析では節理の位置をランダムに発生させるプログラムを作り、単位格子であるユニットセルを作成した。なお節理方向、節理長さは一定である。均質化解析では基質部の弾性係数があるサイトで採取した火成岩(硬岩)のヤング率 260100 kgf/cm^2 とし、き裂部は極めて弱い弱層としてヤング率 1 kgf/cm^2 とした。

4 結果

4-1 ユニットセルサイズの決定

1画素を1正方形要素とするユニットセル有限要素モデル(図-2)において節理厚さ $T=1$ 画素分、節理密度 $vf=0.1, 0.05, 0.01$ 、節理長さ $L=10$ 画素分でユニットセルサイズを変化させることで弾性係数がどんなばらつきを見せるかを調べた(図-3)。(ここで節理密度 vf とは節理全要素数をユニットセル全要素数で割ったものである。また弾性係数は節理方向に対して鉛直方向の弾性係数 E_y を基質部の弾性係数で正規化したもので表す。)モデルサイズが小さいときは弾性係数にばらつきが見られ、サイズが大きくなるほど弾性係数のばらつきは小さくなる。また節理密度が小さいほど、より小さいモデルで弾性係数のばらつきが小さくなっている。このように節理密度の大きさによって弾性係数のばらつきがなくなる点、すなわちユニットセルのサイズが決められるのではないかとということが分かった。同様に、節理長さによってもユニットセルのサイズが変わってくるのが予想されるのでこのことは今後の課題である。

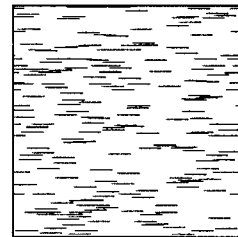


図-2 ユニットセル有限要素モデル

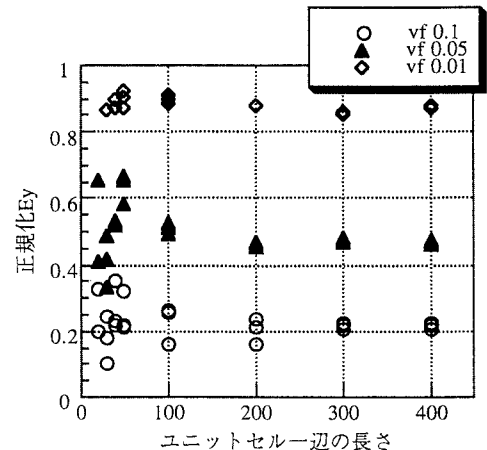


図-3 モデルサイズ-正規化 E_y

4.2 各パラメータと鉛直方向弾性係数の関係

1) 節理長さ L と鉛直方向弾性係数

200×200 要素モデルで節理厚さ $T=1$ 画素分、節理密度 $vf=0.1$ で節理長さ L を変化させることにより弾性係数がどのように変化するかを調べた。節理長さが長くなるほど鉛直方向弾性係数は小さくなっている(図-4)。

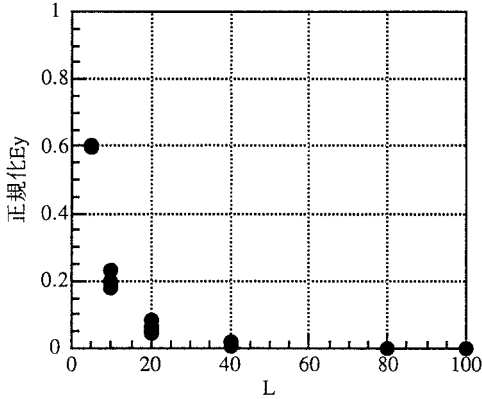


図-4 節理長さ L と正規化Ey

2) 節理密度と鉛直方向弾性係数

200×200 要素モデルで節理厚さ $T=1$ 画素分、節理長さ $L=20$ 画素分、で節理密度 vf を変化させることで弾性係数がどのように変化するかを調べた。節理密度が大きくなるほど鉛直方向弾性係数は小さくなっている(図-5)。

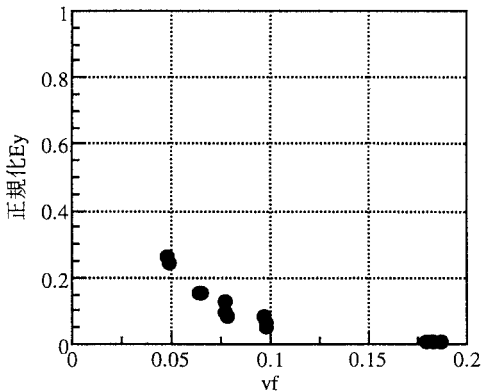


図-5 節理密度 vf と正規化Ey

3) 水平方向弾性係数

これまでのいろいろなパターンのモデルを使って、水平方向弾性係数 Ex と節理密度 vf の関係を調べてみる。(ここで弾性係数は節理に対して水平方向の弾性係数 Ey を基質部の弾性係数で正規化したものである。)モデルサイズ、節理長さに関わらず節理密度 vf が大きくなると水平方向弾性係数 Ex は小さくなる線形の間接関係があることが分かった(図-6)。

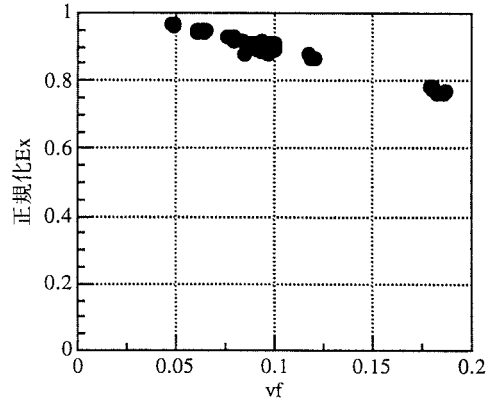


図-6 節理密度 vf - 正規化 Ex

5 まとめ

本研究では節理厚さ T 、節理長さ L 、節理密度 vf を一定にしてモデルサイズを変えることで弾性係数のばらつきがなくなる点、すなわち最適なユニットセルのサイズを調べた。 $T=1, L=20, vf=0.1$ の時、ユニットセルのサイズは200ぐらいであればよいことが分かった。ただし L や vf などによって最適なユニットセルサイズは異なってくることが予想されるのでそれは今後の課題である。また、岩盤中のき裂の分布状況とき裂に対して水平方向の弾性係数 Ex とき裂に対して鉛直方向の弾性係数 Ey の関係について調べた。水平方向弾性係数 Ex はいろいろなパターンのモデルにおいて節理密度 vf で整理できることが分かった。しかし鉛直方向弾性係数 Ey は節理密度 vf 一定のとき節理長さ L で整理できたり、節理長さ L が一定のとき節理密度 vf で整理できたりとある特定の条件のもとでしか整理しきれていないので今後はあらゆる場合において鉛直方向弾性係数 Ey を整理できる節理密度 vf や節理長さ L などの複合的なパラメータを見つけることが課題である。

<参考文献>

- 1) T.Kyoya, T.kawamoto: Quantitative evaluation of effect of pattern bolting by the homogenization method, A.A. BALKEMA, pp641-646, 1993.