

III-19

均質化法による材料の弾性係数に及ぼすき裂面群の影響評価

東北大学工学部 学生員○吉川 靖彦

東北大学工学部 正 員 京谷 孝史

東北大学工学部 正 員 岸野 佑次

1. はじめに

岩盤に構造物を構築する場合、その構造物の掘削断面の大きさは数mから数十mのオーダーである。したがって、地殻変動の影響を直接受けるような断層等の大規模な不連続面については、なるべく岩盤構造物をその周辺に置かないということでその影響を排除することができる。むしろ、岩盤構造物にとって問題なのは、構造物をどこに作ろうとも必ず遭遇する節理と呼ばれる中小規模のき裂群である。このき裂群は構造物と同等のオーダーの大きさを有し、しかも規則的に無数に分布するためにその影響を無視することができない。

本研究では、数学的手法である均質化法(homogenization法)を用いて、節理のような規則的なき裂群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、岩盤を構成する岩の変形特性とき裂の分布状況から岩盤の変形特性を定量的に知ることでできる図表を提示することを目的とする。

2. 均質化法の概要

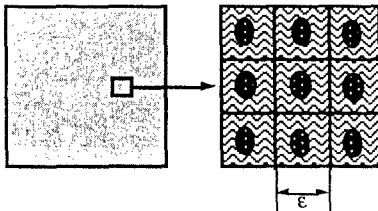


図-1 材料の微視的構造

図-1に示すような周期的・微視的構造を持つ材料を考える。弾性テンソル $E_{ijkl}^e(\mathbf{x})$ 、物体力ベクトル $f_i^e(\mathbf{x})$ 、変位ベクトル $u_k^e(\mathbf{x})$ は周期関数であり、 ε を unitcell の寸法、 $v_i^e(\mathbf{x})$ を仮想変位（任意の変位）とすると、これらを用いた静的平衡条件式からつぎの(1)、(2)式を得る。

$$E_{ijkl}^H = \frac{1}{|Y|} \int_Y \left\{ E_{ijkl}(\mathbf{x}, y) - E_{ijkl}(\mathbf{x}, y) \frac{\partial \chi_r^{kl}(\mathbf{x}, y)}{\partial y_q} \right\} \quad (1)$$

$$f_i^H = \frac{1}{|Y|} \int_Y f_i(\mathbf{x}, y) dY \quad (2)$$

但し、周期関数は Y 周期、 $\chi_p^{kl}(\mathbf{x}, y)$ は unitcell の characteristic deformation と呼ばれ

$$\int_Y E_{ijkl}(\mathbf{x}, y) \frac{\partial \chi_p^{kl}(\mathbf{x}, y)}{\partial y_q} \frac{\partial v_i(\mathbf{x}, y)}{\partial y_j} dy = \int_Y E_{ijkl}(\mathbf{x}, y) \frac{\partial v_i(\mathbf{x}, y)}{\partial y_j} dy \quad (3)$$

を満足するものである。

弾性テンソル $E_{ijkl}^e(\mathbf{x})$ と物体力ベクトル $f_i^e(\mathbf{x})$ の代わりに、 $E_{ijkl}^H(\mathbf{x})$ と $f_i^H(\mathbf{x})$ を用いれば、微視的構造を持つ材料の平均変位場を評価できる。この意味において、 $E_{ijkl}^H(\mathbf{x})$ と $f_i^H(\mathbf{x})$ は、それぞれ Homogenized 弾性テンソル、Homogenized 物体力と呼ばれ、(3)式を有限要素法を用いて解くことにより $\chi_p^{kl}(\mathbf{x}, y)$ を求め、これを(1)、(2)に代入することで均質化弾性係数、均質化物体力が定まる。

3. 解析ケース

本研究では、unitcell を正方形のメッシュで分割する。そしてき裂部を基質部の弾性係数の100分の1から1000分の1の弾性係数とし、基質部より弱い弱層として表現した。

これを利用して、き裂の幾何学的要素のうち、

1. 縦方向のき裂間隔
2. 水平方向のき裂間隔
3. き裂の配置パターン
4. き裂の方向性

について解析を行い、それぞれの材料に及ぼす影響を調べる。また、ポアソン比や基質部の弾性係数を変化させ、岩石の物性値が材料の弾性係数にどのように影響をあたえるかを調べる。

4. 結果と考察

4.1 き裂間隔について

まず、縦方向のき裂間隔とき裂長の比率を表すものとして縦間隔-き裂長比という値を定義する。これは、縦方向のき裂間隔をき裂長で割ったものであり、つまりこの値が小さいほど縦方向にき裂が密に配置されていることを示す。

という値を定義する。これは、き裂長を（き裂長＋水平方向のき裂間隔）で割ったもので、この値が大きいほど水平方向にき裂が密に配置されていることを示す。

上の2つの値の材料の弾性係数に及ぼす影響を個々に調べるため、どちらか一方を固定し、もう一方を変化させてその弾性係数への影響を見る。また、着目する弾性係数、水平方向 E_x 、鉛直方向 E_y 、せん断 G_{xy} の関係を図-2に示す。

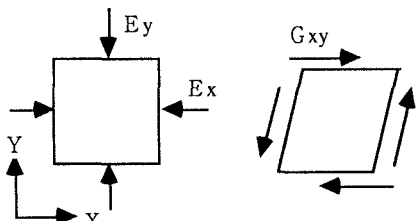


図-2 弾性係数の関係図

まず、縦間隔－き裂長比を変化させたときの E_x 、 E_y 、 G_{xy} それぞれの弾性係数の変化を表したものを図-3に示す。断続率は0.5とした。ただし以下のグラフの縦軸の値、正規化 E_x 、 E_y 、 G_{xy} は、求めた各弾性係数を材料の基質部に与えた弾性係数で正規化した値で、き裂の影響により材料がどの程度弱くなったかを表すものである。

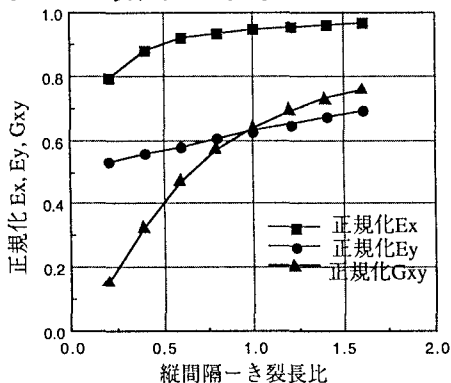


図-3 正規化弾性係数と縦間隔－き裂長比のグラフ

次に、断続率を変化させたときの E_x 、 E_y 、 G_{xy} それぞれの弾性係数の変化を表したものを図-4に示す。縦間隔－き裂長比は

2.0とした。

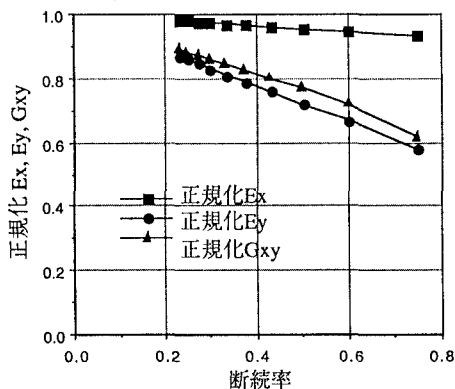


図-4 正規化弾性係数と断続率のグラフ

図-3のグラフは右上がり、図-4のグラフは右下がりのかたちになった。これはある程度予測された形である。どちらも同じように、き裂が密なほど弾性係数が小さくなる、つまり材料が弱くなるということである。

また、図-3のグラフで縦間隔－き裂長比が小さいときに、鉛直方向弾性係数とせん断弾性係数の増加率が大きいのは、どちらもき裂が縦方向に密なほど弱層（き裂部）の影響を強く受けるということを表している。

さらに確かなものとするために、固定した断続率や縦間隔－き裂長比を違う値にした場合の解析を何パターンか行う必要があると思われる。

配置パターンの影響と方向性の影響、それぞれに対する基質部のポアソン比と弾性係数の変化の影響については、現在解析中であるので当日発表したい。

参考文献

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