

愛媛大学 学生会員 ○西山 曜平
愛媛大学 正会員 安原 英明
愛媛大学 正会員 木下 尚樹

1. はじめに

不連続性岩盤では流体の流れは不連続面で支配的となるため、不連続面内の流体の流動特性を時間的かつ空間的に把握することは非常に重要となる。不連続面の水理学特性を表す指標として、いわゆる三乗則より評価される水理学的開口幅が一般的に用いられる。本研究では、レーザー変位計により計測された上下不連続面の表面形状情報から構築されたバーチャル不連続面を用いて、せん断に伴い生じる①力学的開口幅、バーチャル不連続面の局所的な開口幅分布から算術平均で評価できる②幾何学的開口幅と、レイノルズ式より算定される③水理学的開口幅を比較することにより、それぞれの差異を詳細に論じる。

2. バーチャル不連続面（幾何学的開口幅、 b_g ）

花崗岩不連続面上下のラフネス形状をレーザー変位計により $50\ \mu\text{m}$ ピッチで計測し、離散化ラフネスデータを作成した ($30\text{mm}\times 41\text{mm}$)。上下面のラフネスデータの平均平面を算定し、各々の平均平面が平行となるように設定した。次に、上下面の個々のデータポイントの算術差を局所的な不連続面の開口幅とし、すべての計測点における局所開口幅の算術平均値を幾何学的開口幅、 b_g と定義した。図1に構築されたバーチャル不連続面を示す。不連続面上下面の離散化ラフネスデータについては、後述する力学的開口幅および水理学的開口幅を算定する際にも同じものを用いる。



図1 バーチャル不連続面

3. せん断によるダイレーション（力学的開口幅、 b_m ）

不連続面の一面せん断によりダイレーションが発生するが、その際のダイレーション量を本稿では力学的開口幅、 b_m と定義する。せん断に伴うダイレーションの発生機構は、津野ら¹⁾が提案した解析モデルを用いて記述する。詳細は参考文献1)に譲るが、概要を以下に述べる。解析に用いるデータは、不連続面の離散化

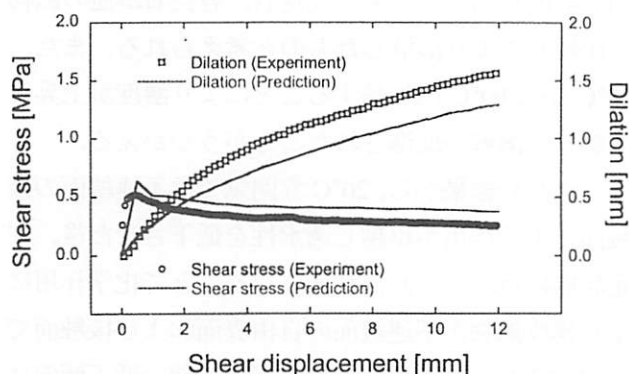


図2 せん断試験結果および解析結果の比較²⁾

ラフネスデータ、材料強度（一軸圧縮強さ）、基礎摩擦角である。まず、任意のダイレーション角を設定し、そのダイレーション角でせん断されると仮定する。この時、想定せん断面に作用する巨視的な垂直応力、せん断応力を算定する。次に、離散化ラフネスデータより設定ダイレーション角より大きな角度を持つ、つまりせん断中に接触するアスペリティを検索し、接触面積を算定する。続いて、その想定接触面積と材料の強度より推定される接触面積を比較し、両者が等しくなるまでダイレーション角を繰り返し設定し、再計算を行う。図2に垂直拘束圧一定の条件で行われたせん断試験結果と解析モデルにより推定された解析結果の比較図を示す²⁾。図より、実験結果を精度良く表現できる解析モデルであることがわかる。

4. 不連続面透水解析（水理学的開口幅、 b_h ）

不連続面内の流れは定常状態を想定し、以下に示すレイノルズ式を用いて評価する。その際の開口幅分布は、幾何学的開口幅を用いて解析を行う。

$$\nabla \left(\frac{b_g^3}{12\mu} \nabla p \right) = 0 \quad (1)$$

ここで、 μ : 粘性係数、 p : 水圧である。例えば透水差圧を境界条件に設定したとき、境界より流出入する総流量より、ダルシー則を用いて水理学的開口幅、 b_m を評価することができる。

$$b_h = \left(\frac{12\mu \cdot Q \cdot l}{\Delta p \cdot w} \right)^{1/3} \quad (2)$$

ここで、 Q : 流量、 l, w : 領域の長さ、幅である。本研究で用いた上下離散化ラフネスデータより算定された開口幅分布を用いた透水解析結果の一例を図3に示す。

5. 幾何学・力学・水理学的開口幅の比較検証

本章では、垂直拘束圧 1.0MPa および透水差圧 0.5MPa の拘束条件下で、不連続面の一面せん断解析および透水解析を実施し、幾何学・力学・水理学的開口幅の差異について定量的に評価した。解析によって得られた幾何学・力学・水理学的開口幅の比較図を図4に示す。図より明らかなように、せん断変位の増加と共に、すべての開口幅が単調に増加していることが確認できる。また、水理学的開口幅は、幾何学・力学的開口幅よりも小さくなる傾向が得られ、せん断変位の増加と共に低下率は大きくなっている。これは、せん断に伴い、不連続面内の流体が蛇行しながら流れ、真の透水距離が長くなっていくためである。また、力学的開口幅は幾何学的開口幅よりも徐々に小さくなる傾向が得られた。せん断変位 1.75mm 時の力学的開口幅は、幾何学的開口幅の約 95% の値を示している。これは、せん断に伴うガウジの発生をせん断解析では考慮しておらず、せん断されたアスペリティは計算領域から除外して解析を行うためである。つまり、せん断変位が大きくなる程、力学・幾何学的開口幅の乖離は大きくなる。

6. まとめ

本研究では、離散化ラフネスデータより構築されたバーチャル不連続面を用いて、せん断解析及び透水解析を実施した。そして、せん断変位に伴う幾何学・力学・水理学的開口幅の比較検証を行った。その結果、すべての開口幅はせん断変位の増加と共に、増加する傾向が得られた。力学・水理学的開口幅は、せん断に伴い、幾何学的開口幅よりも減少する結果となった。特に、水理学的開口幅はその傾向が大きく、せん断変位 1.75mm 時で、約 25% 低下する結果が得られた。しかし、上下ラフネスのかみ合わせの良い状態では、すべての開口幅に差異はなく、水理学的開口幅から実際の不連続面開口幅を推定することは可能であると考えられる。

【参考文献】

- 1) 津野究, 岸田潔, 足立紀尚 (2000), 摩擦とラフネスを考慮した岩盤不連続面の一面せん断挙動のモデル化, 第35 回地盤工学研究発表講演集, pp.1479-1480.
- 2) 安原英明, 岸田潔, 足立紀尚 (2001), ラフネス計測結果を用いた不連続面せん断挙動の推定, 第31回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.161-165.

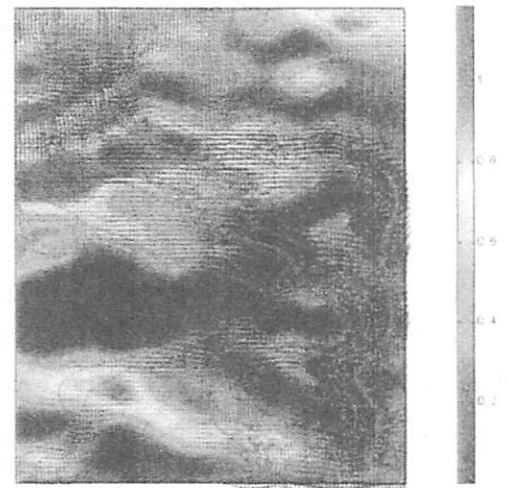


図3 透水解析結果例（開口幅分布、流線）

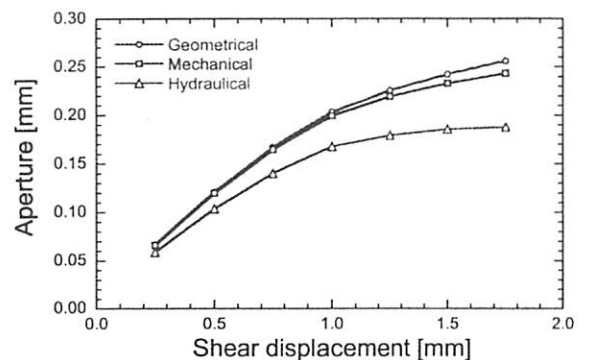


図4 幾何学・力学・水理学的開口幅の比較