

Ⅲ - A314

岩盤材料の異方性降伏関数と三軸圧縮試験

法政大学	学	兼重 剛
法政大学		富岡 洋一
法政大学	正	草深 守人
間 組		青柳 秀明
大 林 組		伊与田宏幸

1. はじめに

最近、ダム基礎岩盤となる長大斜面の掘削や地下発電所空洞の掘削において、岩盤の強度異方性に配慮した設計が重要な課題となり、強度異方性の岩盤をどのようにモデル化し、構成方程式で表現するかが問題となっている。しかしながら、材料の強度に関する異方性は、実際の構造物の設計において、変形に対する異方性と同程度、或いはそれ以上に重要な力学的要因であるにもかかわらず、その取り扱いには未だに経験的判断に頼っているのが現状である。そこで本文では、強度異方性材料の降伏関数であるPariseauの降伏関数[1]と著者らが提案した降伏関数[2]（以後、Hosei-modelと呼ぶ）を対象に、実験値との比較から若干の考察を行う。

2. 実験方法

セメントモルタルを $t = 10 \text{ mm}$ 間隔で打設し、打設境界面に層理材料を挿入した人工積層岩盤材料を作成した。層理材料は、 $\phi 8 \text{ mm}$ の円孔を 5 mm 間隔で千鳥配置したコピー用紙を使用した。この実験では、異方性を調べる為に各層の境界面が載荷主軸方向となす角 θ （以下、層理角と呼ぶ）を $\theta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$ の七種類とした。それぞれの層理角に対し、拘束圧を $\sigma_3 = 0.98, 1.96, 2.94 \text{ (MPa)}$ の三種類とした。全実験は、各条件毎に3体の供試体を準備し、計 $7 \times 3 \times 3 = 63$ 体の実験を行った。

3. 静水圧依存の異方性降伏関数

本文では、応力の完全2次形式から出発した次式のPariseau-modelとHosei-modelについて実験値との比較・考察を行う。

Pariseau-model

$$f = \sqrt{b_1(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + b_2(\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + b_3(\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + b_4\sigma_{12}^2 + b_5\sigma_{23}^2 + b_6\sigma_{31}^2} - (a_1\sigma_{11} + a_2\sigma_{22} + a_3\sigma_{33}) - \kappa = 0 \quad (1)$$

Hosei-model

$$f = \sqrt{(b_1\sigma_{11} - b_2\sigma_{22})^2 + (b_2\sigma_{22} - b_3\sigma_{33})^2 + (b_3\sigma_{33} - b_1\sigma_{11})^2 + (b_4\sigma_{12})^2 + (b_5\sigma_{23})^2 + (b_6\sigma_{31})^2} - (\alpha_1b_1\sigma_{11} + \alpha_2b_2\sigma_{22} + \alpha_3b_3\sigma_{33}) - \kappa = 0 \quad (2)$$

式(1)の第一項で表される偏差応力に関する項は静水圧非依存であることから、Pariseau-modelでは、 π 平面の形状が静水圧軸に沿って相似形である。一方、式(2)の第一項は静水圧依存であることから、Hosei-modelは静水圧応力の増加に伴って π 平面の形状が変化する。

4. 材料定数の決定方法

両モデルの材料定数の決定は、異なる複数の層理角に対する実験値と降伏関数 f から計算される破壊強度の差を最小化する非線形最適化手法を利用した。最適化すべき目的関数 F は、式(1)或いは式(2)を用いて以下のように定義する。

$$F = \sum_{i=1}^n (F_i)^2 \quad (3)$$

ただし、 F_i は実験値の応力を代入した降伏関数であり、 n は実施した材料試験の総数である。式(3)の最小化問題に対する制約条件は、降伏関数の物理的意味、或いは特別な応力状態により、式(1)と式(2)に対してそれぞれ次式で与えられる。

キーワード：岩盤，異方性降伏関数，材料定数，三軸試験，最適化
連絡先：〒184-0002 東京都小金井市梶野町3-7-2 法政大学工学部

Pariseau-model

$$0 < \alpha_i < \sqrt{b_i + b_j} \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad , \quad b_i > 0 \quad (i = 1, \dots, 6) \quad (4)$$

Hosei-model

$$0 < \alpha_i < \sqrt{2} \quad (i = 1, 2, 3) \quad , \quad b_i > 0 \quad (i = 1, \dots, 6) \quad (5)$$

表1：Pariseau-modelの材料定数

a_1	a_2	a_3
0.358E-1	0.259E-1	0.358E-1
b_1	b_2	b_3
0.790E-2	0.790E-2	0.450E-2
b_4	b_5	b_6
0.162E+0	0.162E+0	0.159E+0

表2：Hosei-modelの材料定数

a_1	a_2	a_3
0.805E-2	0.553E-2	0.225E-2
b_1	b_2	b_3
0.112E-1	0.109E-1	0.750E-2
b_4	b_5	b_6
0.672E-1	0.579E-1	0.667E-1

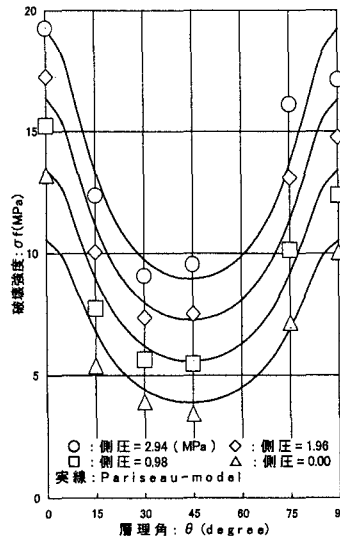


図1：Pariseau-model

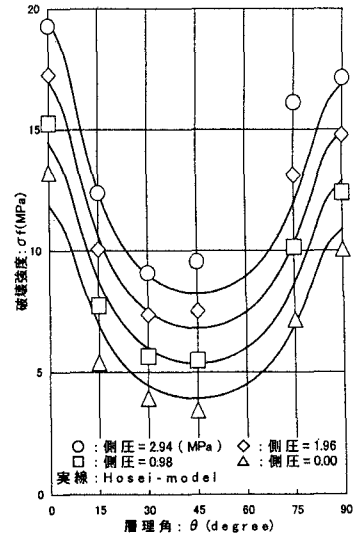


図2：Hosei-model

5. 実験値と解析値の比較及び考察

式(1)のPariseau-modelに対する材料定数の推定値を表1に、これらの材料定数を用いた破壊強度の計算値と実験値の比較を図1に示す。同様に、式(2)のHosei-modelに対する材料定数の推定値を表2に、破壊強度の計算値と実験値の比較を図2に示す。ただし、層理角60°に対する実験データは、供試体作成時のミスによるバラツキが大きく、比較対象から除外している。

図1に示すようにPariseau-modelでの計算値は、層理角45°に対して側圧と無関係に左右対称となっており、 π 平面の形状が静水圧応力に依存していないことが分かる。このため、層理が高角度になるに連れ、これらの実験値に対する精度は、側圧の増加に伴って低下している。一方、Hosei-modelは π 平面の形状が静水圧応力に依存して変化していることから、実験値の非対称的な異方性を表現しており、かつ精度もPariseau-modelに比べて向上している。

6. あとがき

本文では、異方性材料の降伏関数であるPariseau-modelとHosei-modelの二つについて、実験値との比較を行った。偏差応力に関係する項が静水圧応力に非依存であるPariseau-modelのような降伏関数は、拘束圧による異方性の割合（三つの材料主軸方向の強度比）の変化を表現できない。一方、偏差応力の効果が静水圧応力に依存するとしたHosei-modelは、異方性の割合が拘束圧によって変わる性質を表現できる降伏関数であることを示した。ただし、これらの結論は、先に述べたようなセメントモルタル材料に対する実験値との比較から考察されただけであり、その適用可能範囲までは明確でない。したがって今後は、異なる様々な岩石材料に対する実験データの積み重ねを行うと同時に、解析値と実験値との比較からここで得られた知見の有効性を確認していく必要がある。

【参考文献】

- [1] W.C.Pariseau: *Prasticity Theory for Anisotropic Rocks and Solids, Proceedings of the Tenth Symposium of Rock Meckanics, Chapter 10*, University of Texas, Austin, 1968.
- [2] 草深守人, 武田洋: 地盤材料の異方性降伏関数と材料定数の評価, 日本計算工学講演会論文集, 第1巻, 第2号, 日本計算工学会, 1996.