

異方性地盤材料の弾塑性構成モデル

熊本大学工学部 学員 高台 宏明
同上 正員 平井 弘義

1. はじめに

層状岩石、圧密粘土、密な砂質土などの地盤材料は、方向性のある力学的挙動を示し、異方性材料として取り扱う必要が考えられる。

しかし、これまで、異方性材料のモデル化は、あまり行われておらず、異方性材料も等方性材料と仮定することばかり少ない。その結果として、実験値とあまり適合しないのが現状である。

そこで、従来の等方性材料における Von Mises の基準、Drucke-Prager の基準と異方性材料の一般的な基準にまで拡張することが必要となってきた。

本研究では、異方性材料の一般化された Von Mises の基準を提案し、それを実験値と比較検討することを目的としている。

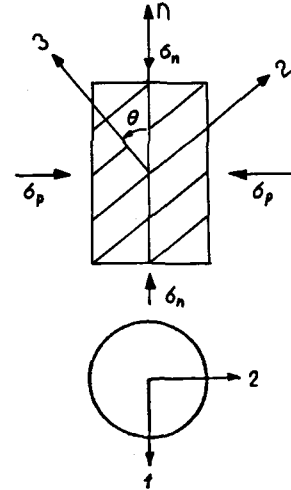


図1 横等方性材料

2. 横等方性モデル

特定の方向性を表す横等方固体を考える。

この材料は図1のような層状をなし、層の水平面内においては等方性である。しかし、層と垂直な軸方向は、水平面内とは異なる、た挙動を表すので、異方性材料の最も基本的なモデルと考えられる。

この横等方性モデルの力学的挙動を表すには、次の5つの基本不変量が必要である。すなわち、

$I_1, I_2, J_2, Q_2, Q_3^2 + Q_4^2 + Q_5^2$
の5つである。

ここで、 I_1, I_2, J_2 はそれぞれ応力の1次、偏差応力の2次、3次の不変量であり、 Q_2 と $Q_3^2 + Q_4^2 + Q_5^2$ の2つの不変量がこの横等方性モデルの特徴を表わしている。

これらの不変量の中からいくつかの項を選び、最も実験値に適合するような基準を考え、実験値と比較したのが図2である。

図2は、縦軸に相対強度、横軸に層の角度変化をとり、粘土の層の角度が変化することにより、強度が様々に変化する様子を表わしている。

	a	b	c	d	e
λ	-0.22	-0.23	-0.57	0.09	-0.02
μ	0.35	0.21	0.28	0.11	-0.10
k	0.59	0.44	0.36	0.26	0.22

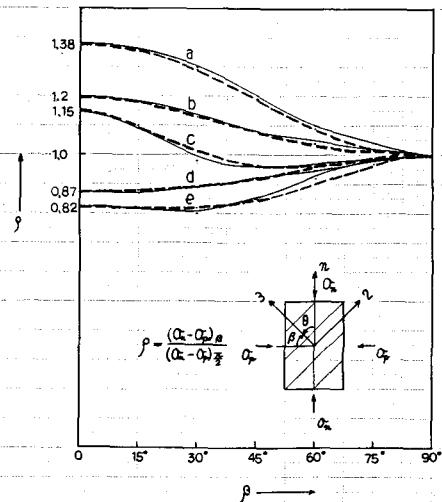


図2 粘土の方向性による強度変化
(参考文献 J. M. Duncan 他)

3. 従来の研究

等方性材料においては、粘土などにおける Von Mises の基準、砂地盤などにおける Drucker-Prager の基準などが代表的な降伏基準と考えられる。Von Mises の基準は P-Q 平面において円筒形、Drucker-Prager の基準は、P 軸上の 1 点で閉じた円錐形をしているという特徴をもっている。

これらの等方性材料の基準を異方性材料の基準へと拡張したものに、Boehler¹⁾らの研究がある。この研究によると、異方性材料の基準が、簡単化理論を用いて次式のように表わされている。

$$f = -\frac{\alpha}{3}\beta(\beta - \gamma)I_1^2 + \frac{1}{3}(2\alpha^2 - 4\gamma^2 + 2\alpha\gamma - 12\beta^2 + 12\gamma\beta)Q_0^2 + 2\gamma^2J_2 + 4\beta(\beta - \gamma)Q_0^2 + \frac{\gamma}{3}(\gamma^2 - \alpha\gamma + 4\beta^2 - 4\gamma\beta)Q_0I_1 - 4\beta^2 = 0 \quad (1)$$

ここで、 α , β , γ は材料定数、 k は定数である。

これを図示したものが、図3である。この図において $Q = Q_0 - \alpha$, $P = (Q_0 + 2\alpha)/3$ である。

図3より、この基準は、Von Mises の異方性材料への拡張であると考えられる。

$$\begin{aligned} \alpha/k &= 2.45 \\ \beta/k &= 2.00 \\ \gamma/k &= 1.77 \end{aligned}$$

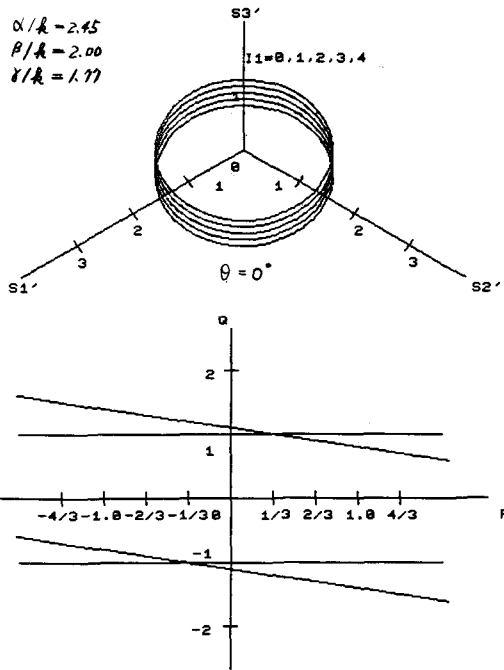


図3 偏差平面と P-Q 平面における降伏関数の形 (Boehler らの研究による)

4. 提案する降伏基準

この研究において、Von Mises の異方性材料への一般化された基準として次式を提案する。

$$f = J_2 + \lambda Q_0^2 + \mu Q_0 - k = 0 \quad (2)$$

ここで、 λ , μ , k は材料定数である。

この基準は、 λ , μ , k の値を適当に定めることによって、図2のように、実験値と適合させることができる。

また、この基準は、P-Q 平面において、図4のような楕円の閉じた形をしており、静水圧でも降伏するという異方性の特徴を表わしている。

今回は、Von Mises の基準の拡張に属しているが、今後は、Drucker-Prager の基準の拡張も試みてみたい。

$$\begin{aligned} \lambda &= -0.22 \\ \mu &= 0.35 \\ k &= 0.57 \end{aligned}$$

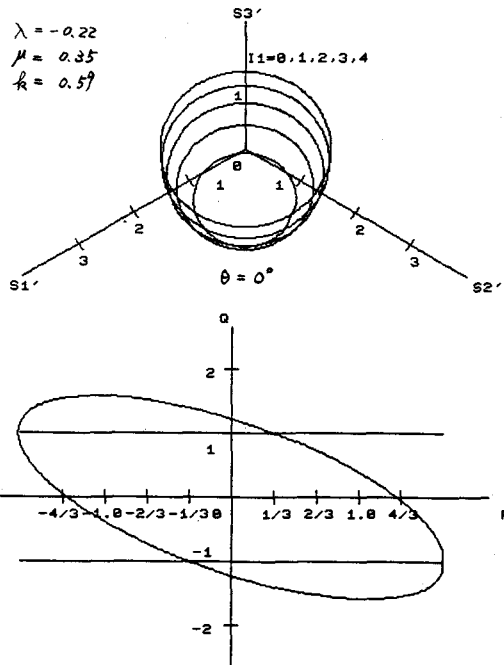


図4 偏差平面と P-Q 平面における降伏関数の形 (本研究による)

参考文献

- 1) J. P. Boehler and A. Sawczuk, 'On Yielding of Oriented Solids', Acta Mechanica 27, 185-206 (1977)