

弾粘塑性解析における接線剛性法とルンゲ・クッタ法の比較

岐阜大学 岡 二三生 岐阜大学 八嶋 厚

○岐阜大学大学院 小野 健司

1. まえがき

本研究では、微小変形の枠内において既に誘導されている岡・足立による正規圧密粘土¹⁾及び過圧密粘土²⁾の弾粘塑性構成式を、数値解析におけるアルゴリズムの精度と安定性を向上するために、Peirce・Shih・Needlemanによる接線剛性法³⁾を用いて変形した。そして、この構成式を用いて、一要素供試体について圧密非排水三軸試験を解析し、ルンゲ・クッタ法との比較を行い、数値解析の安定性と精度の評価を検討した。その結果、接線剛性法は、より少ないステップ数で安定した解析が可能であることが分かった。

2. 接線剛性法を用いた構成式の変形

正規圧密粘土の弾粘塑性構成式について、その応力速度-ひずみ速度関係は、接線剛性法を用いると次の(1)式のように表わせる。

$$\dot{\sigma}_{ij} = D_{ijkl}^{\text{tan}} \dot{\epsilon}_{kl} - D_{ijkl}^e \frac{\Phi_t}{1+\xi} \frac{\partial f}{\partial \sigma_{kl}} \quad (1)$$

$$D_{ijkl}^e = D_{ijkl}^e - D_{ijlm}^e \frac{\partial f}{\partial \sigma_{lm}} \frac{\partial \Delta t}{1+\xi} \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma_{pq}} D_{pqkl}^e \quad (2)$$

$$1 + \xi = 1 + (\theta \Delta t) \left(\frac{\partial \Phi}{\partial \sigma_{ij}} D_{ijkl}^e \frac{\partial f}{\partial \sigma_{kl}} - \frac{\partial \Phi}{\partial V^p} \frac{\partial f}{\partial \sigma_{pp}} \right) \quad (3)$$

ここで、 f は降伏関数、 V^p は硬化パラメータ、 Φ は塑性ひずみ速度の大きさを表わす関数、 θ は差分化するために用いた関数である。

過圧密粘土に関しても同様の誘導を行い、(1)式のような応力速度-ひずみ速度関係を得る。

(ただし、硬化パラメータとして、正規圧密粘土の場合の V^p の変わりに γ^p を用いる。[$\dot{\gamma}^p = \sqrt{\dot{\epsilon}_{ij}^{vp} \dot{\epsilon}_{ij}^{vp}}$])

3. 解析結果

先に誘導した正規圧密粘土、過圧密粘土の構成式を組み込んだプログラムを用いて、圧密非排水三軸圧縮試験をシミュレーションした。表1に材料定数を示し、以下に解析結果を示す。図1,2は接線剛性法の影響を見るために、正規圧密粘土及び過圧密粘土について、ひずみ速度0.01 (%/min) (時間増分; 3000 s、ひずみ増分; 0.005%) に $\theta=0.0, 0.5, 1.0$ という3パターンの解析結果をプロットしたものであり、図3は正規圧密粘土について、接線剛性法($\theta=0.5, 1.0$)とルンゲ・クッタ法を比較するために、同条件下(ひずみ速度0.001(%/min)(時間増分; 3000 s、ひずみ増分; 0.005%))でのそれぞれの結果が示してある。

解析結果より、接線剛性法を用いることによりアルゴリズムの安定性が向上されることがわかる。また、ひずみ増分ステップ幅を粗くするほど、その差は顕著になる。

ルンゲ・クッタ法との比較により、接線剛性法を用いた方が安定していることが確認され、これにより接線剛性法は、より少ないステップ数で安定した解析が可能であることが分かり、計算時間を多く必要とする解析において有効であることが分かった。

参考文献

- 1) Adachi.T and F.Oka(1982), Soils and Foundations, 22(4), pp.57~70.
- 2) Oka.F (1982), Int. Symp. on Num. Meth. in Geomechanics, pp.147~156.
- 3) Peirce.D, C.F Shih and A.Needleman (1984), Computer & Structures, 18(5), pp.875~887.

表1 材料定数

正規圧密粘土		過圧密粘土	
m'	12.8	m'	12.8
M'	1.45	M'	1.25
		C_{01}	9.0×10^{-8}
C_2	2.85×10^{-2}	C_{02}	2.85×10^{-8}
		G'	150.0
現在の応力	1.0	現在の応力	0.8
圧密降伏応力	1.0	圧密降伏応力	0.951
λ	0.355	λ	0.355
κ	0.0477	κ	0.0477

(応力の単位は kgf/cm^2)

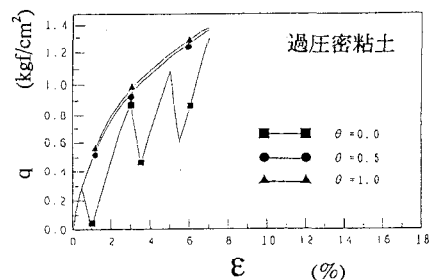
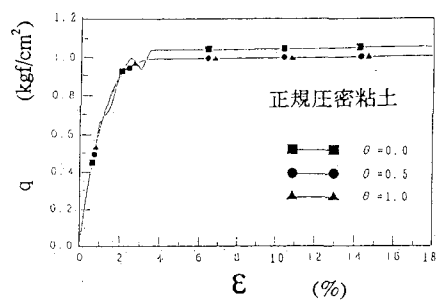


図1主応力差-ひずみ関係

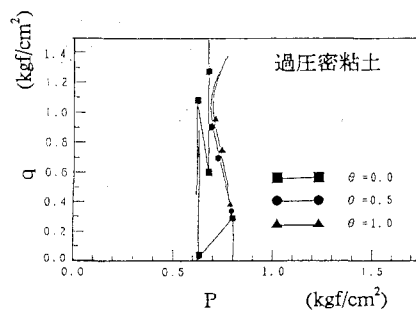
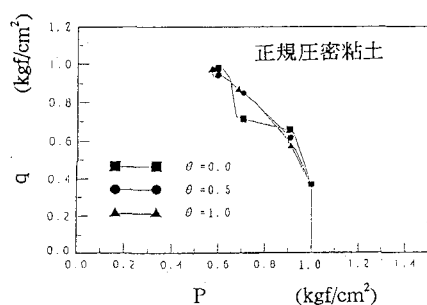


図2有効応力経路

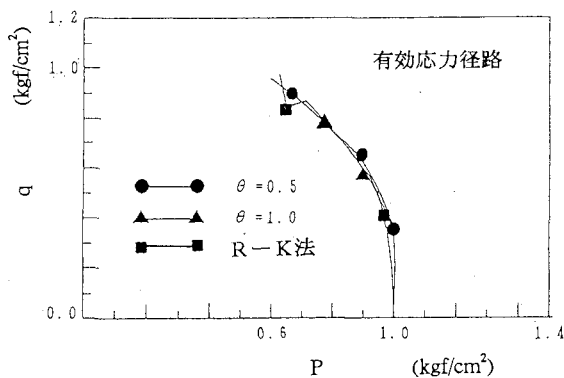
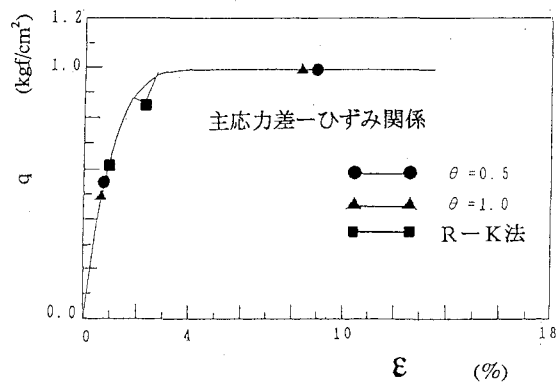


図3 ルンゲ・クッタ法との比較