

Ⅲ-A36

楕円微細構造体の大きさを考慮した粒状体の非線形変形解析

名古屋工業大学 正会員 ○前田健一
北海道大学大学院 正会員 三浦均也

1. はじめに

著者らは、粒状体の構造単位として粒子間接点力を伝達する経路を楕円で近似した「楕円微細構造体」(図-1参照)に着目し、構造体間の相互作用を考慮した二次元非線形解析モデルを提案している。既報^{1),2)}では、粒状体のダイレイタンス、異方性や破壊挙動を構造体の力学特性に基づくことで共通のメカニズムで表現できることを明らかにした。

本報告では、粒子間すべりに関する安定解析を行うことで、構造体の大きさ(構成粒子数)について考察する。また、安定条件におよぼす構造体の大きさの効果を考慮した粒状体の変形解析の結果について示す。

2. 楕円構造体の大きさ

本報では、構造体がおかれている二次元応力状態に応力のゆらぎを与え、構造体の粒子間すべりに対する安定性の変化を調べることで構造体の大きさについて考察する。図-1に楕円構造体の幾何学量の定義を示す。また、楕円の扁平度を示す形状係数 κ_e と長軸・短軸半径の比 a/b 、 $b=1$ としたときの楕円の周長 Γ ($b=1$)との関係を図-2に示す。

構造体に発生する粒子間動員摩擦角 ϕ_c の最大値 ϕ_{cmax} は、構造の形状 κ_e 、応力比 κ_σ 、長軸方向 α_e と主応力方向 α_σ との方向角差 $|\alpha_\sigma - \alpha_e|$ の関数として表される³⁾。図-3には $\kappa_e=0.6(a/b=2)$ の構造体について、 ϕ_{cmax} 、摩擦抵抗角 $\phi_\mu=20\text{deg.}$ の場合に $\phi_{cmax} \geq \phi_\mu$ となる楕円の弧の長さ s と応力比 κ_σ との関係を示している。条件 $\kappa_e = \kappa_\sigma$ と $\alpha_\sigma - \alpha_e = 0$ が満たされたときには構造にはせん断力が発生せず極値 $\phi_{cmax}=0$ となり最も安定となる。また、 ϕ_c の増加にともない $\phi_{cmax} \geq \phi_\mu$ となる弧長 s が長くなり、全長 Γ の70%近くにも達していることが分かる。構造体の安定条件は弧長 s と構成粒子径 d の大きさの比 s/d によっても大きく影響されると考えられる。粒径 d のとき、 $s/d \geq 1$ であれば s の中に必ず接点が存在することになるので構造は必ず破壊する。逆にある一点だけでも $\phi_{cmax} \geq \phi_\mu$ となれば破壊するという条件が $s/d=0$ である。既報での解析は後者の場合に相当し、破壊条件に構造体の構成粒子径は考慮されていなかった。そこで、構造体の安定条件に、 ϕ_{cmax} と ϕ_μ の大小関係と長さ比 s/d の両方を考慮することを考える。

図-4は主応力方向のゆらぎ $\Delta(\alpha_\sigma - \alpha_e) \neq 0$ を加えたときの、図-3の逆数 Γ/s の変化を示している。ゆらぎを与える安定性の変化を調べることで安定性の程度をはかることができる。長さ比 Γ/s が大きいほど構造上で安定領域が広いことを意味する。ゆらぎ $\Delta(\alpha_\sigma - \alpha_e)$ が大きくなると s が大きくなり不安定化し、 10deg. 以上程度では Γ/s は有限な値をもち 15deg. では最大で50となる。さらに形状が $\kappa_e=0.50, 0.60, 0.80, 0.95$ の構造についてゆらぎが 15deg. の場合について示したのが図-5である。ここで、低い応力比 $\kappa_\sigma < 0.3$ では $\Gamma/s=20 \sim 30$ であり、極大値をとった後、 $\kappa_e < \kappa_\sigma$ では急激に減少し破壊に近づくことがわかる。ここで、破壊条件を $s/d=1$ とすると、 $\Gamma/s = \Gamma/d \div (\text{構造の周長を構成する最大粒子個数})$ となる。たとえば、 $\kappa_e=0.6$ の場合、約 $\Gamma/s=20 \sim 50$ 個となるから、図-2から $\Gamma=10$ で $b/d \div (20 \sim 50)/10=2 \sim 5$ 、 $a/d \div b/d \times 2=4 \sim 10$ となり、構造の大きさは短軸方向に粒子2-5個、長軸方向に4-10個程度となる。この結果は、他の実験・解析^{3),4)}とだいたい同等の値を示している。

上記のことから、 b/d が小さく、構造を構成する粒子の個数が少ないほど構造は壊れにくいことになる。このことは密に詰まった粒状体の方が強いことに相当すると考えられる。

キーワード：粒状体、微細構造、粒径、摩擦、変形

連絡先：〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学, Tel.&Fax. 052-735-5497

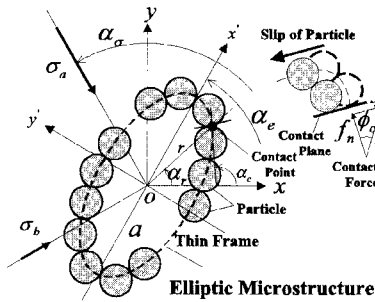


図-1 楕円構造体の定義

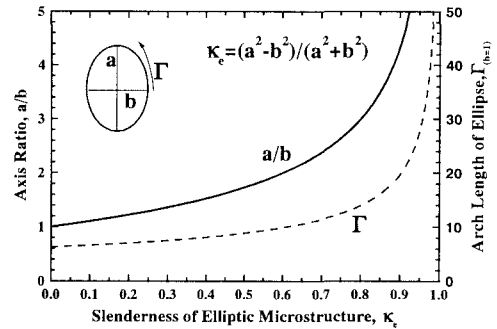


図-2 構造体の形状と周長

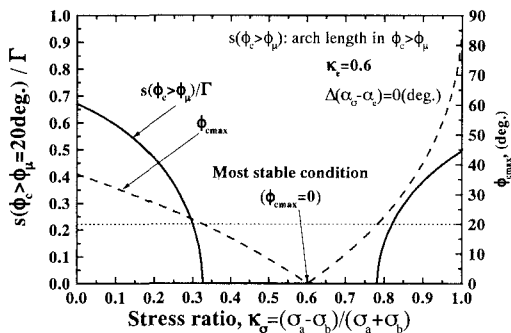


図-3 破壊条件 $\phi_{\max} \geq \phi_\mu$ の領域の大きさ s と応力比

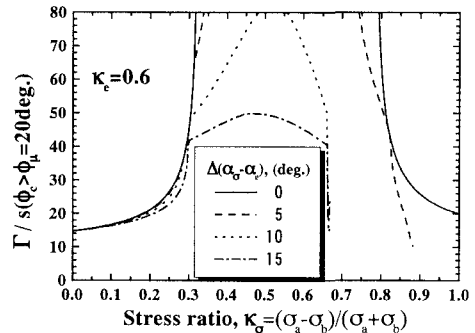


図-4 構造体の最大構成粒子個数と応力比の関係

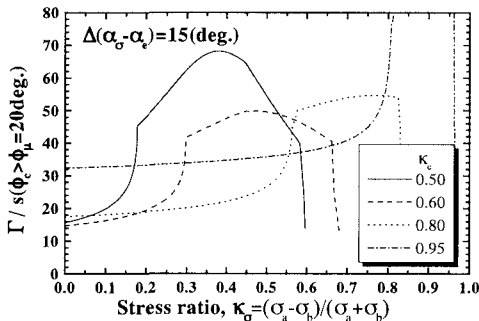


図-5 構造体の最大構成粒子個数と応力比の関係

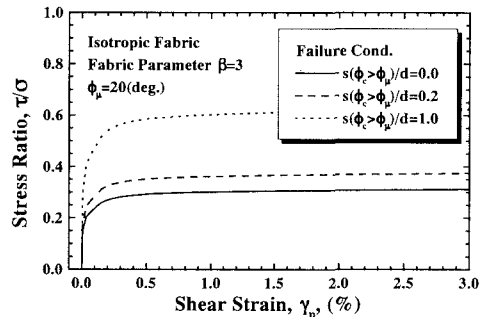


図-6 構造体の大きさを考慮した粒状体の変形解析

3. 楕円構造体の大きさを考慮した変形解析

前節の結果を考慮して、既報での構造体の破壊条件 $\phi_{\max} \geq \phi_\mu$ に加えて s/d の値を規定した場合の粒状体の変形解析を図-6 に示す。解析手法・条件は既報²⁾に詳しい。剛性・強度とも s/d の増加に伴って大きくなっていることが分かる。このことから特性長さである構造と粒径との相対的な大きさ b/d （密度）は構造の変形特性だけでなく、破壊強度へも考慮されることになる。

参考文献

- 1) Maeda, K., Miura, K. and Toki, S.(1995): "Mechanical Properties of elliptic microstructure formed in granular materials," Soils and Foundations, Vol.35, no.2, pp.1-13.
- 2) 前田・三浦(1998): 楕円微細構造体に着目した粒状体の非線形変形挙動, 応用力学論文集 Vol.1, pp.507-518.
- 3) 坂口(1994): 粒状体に発達する網目状骨格構造の大きさについて, 第29回土質工学研究発表会, 99.483-484.
- 4) Hori, M.(1996): "Micromechanical analyses on granular column formation and macroscopic deformation," Soils and Foundations, Vol.36, No.4, pp.71-80.