

(特-10) 個別要素法の積雪変形解析への適用に関する一検討

新潟大学 正員 阿部和久
新潟大学 金子正浩

1. はじめに

著者らは個別要素集合体による積雪の変形解析手法の構成について検討を行ってきた¹⁾。比較的大きな変形を対象とした解析では、要素どうしの接触状態が変動するため、その影響の補正が必要となる。ここでは、その際に重要となる接触点密度関数の要素単位での適切な評価方法について検討する。

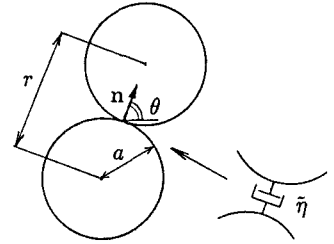


図-1 粘性粒子モデル

2. 粘性粒子集合体の巨視的性質と接触点密度関数

長時間に亘る積雪の変形挙動は粘性体として表すことができる。その粘性係数は変形様式、密度、雪温、含水率などにより大きく異なるが、ここでは基礎的検討を目的に、変形過程等に対して不変な等方粘性体を対象とする。なお、上述の特性は実解析において適宜考慮可能である¹⁾。

粘性体に対する個別要素解は図-1に示すように、接触点間に粘性ダッシュポット $\bar{\eta}$ を挿入した粒子集合体としてモデル化できる。その場合に得られる粒子集合体の巨視的粘性係数は次式で与えられる²⁾。

$$\eta_{ijkl} = \frac{\gamma}{2\pi a^2 \rho} \int_0^{2\pi} n_i n_j n_k n_l r^2 \psi \bar{\eta} d\theta \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 n_i は接触点での単位法線ベクトル、 r は中心点間距離、 $\bar{\eta}$ はダッシュポットの粘性係数、 ρ は粒子密度、 γ は集合体の巨視的密度、 a は粒子半径である。また、 ψ は接触点密度関数で、集合体の単位ラジアン当りの接触点数を表す関数である。

式(1)より、従来の個別要素解析では、集合体の巨視的粘性係数は異方性を示し、 γ, r, ψ に依存し、変形の進行と共に変動することがわかる。

3. 変形に依存しない粘性粒子集合体

集合体の接触状態の変動の影響を補正するために、各接触点におけるダッシュポットの粘性係数 $\bar{\eta}$ を、 r, γ, ψ に基づき次式のように設定する²⁾。

$$\bar{\eta} = \frac{16a^2 \rho}{5r^2 \psi \gamma} \cdot \eta \dots\dots\dots (2)$$

この場合の巨視的粘性係数は次式で与えられる。

$$\eta_{ijkl} = \frac{2}{5} \eta (\delta_{ij} \delta_{kl} + \delta_{ik} \delta_{jl} + \delta_{il} \delta_{jk}) \quad (\delta_{ij} : \text{Kroneckerのデルタ}) \dots\dots\dots (3)$$

式(3)より、この集合体は変形に依存せずポアソン比1/4の等方粘性体に対応していることがわかる。

4. 実際の解析における ψ の評価

実際の解析での応力-変形場は一樣でない。そのため、式(2)の補正には、要素単位で ψ を評価する必要がある。しかし、各要素の接触点数は3～5個程度であり、それのみによって ψ を適切に評価することは困難である。そこで、周囲の要素の接触状態をある程度反映しつつ、各要素単位で ψ を評価する方法について検討する。

まず、着目している要素に対して接触点の角度 θ_k を求める。次に、接触角を 10° 毎に36等分割し、各区間における接触点数 $N_j (j = 1, \dots, 36)$ を求め、次式により接触点密度関数の第一段階目の評価 ψ_j^1 を与える。

$$\psi_j^1 = \frac{N_j}{\Delta\theta} \quad ((j-1)\Delta\theta \leq \theta < j\Delta\theta, \Delta\theta = \frac{2\pi}{36}) \dots\dots\dots (4)$$

各要素毎に式(4)により ψ_j^1 を作成し、着目している要素とそれに接している要素とで ψ_j^1 の平均値を求め、これにより第二段階の評価 ψ_j^2 を得る。以降、同様の操作を繰り返す。

以上の手順により、着目要素に直接的に接触していない要素での接触状態をも反映し、且つその影響度が距離と共に減少する評価過程が構成される。

図-2に示す個別要素集合体を対象に、応力度一定条件の下で鉛直方向の一軸引張および一軸圧縮の各解析を行った。結果を図-3に示す。縦軸は一軸変形での巨視的粘性係数、横軸は解析時刻である。図中には従来の個別要素解析と、上述のように ψ を評価し、式(2)により $\bar{\eta}$ を設定した場合とを示した。なお、後者においては ψ_j^1 の評価において、隣接区間との間で次のような配分操作をさらに加え、第5段階目における評価値 ψ_j^5 に基づき式(2)の計算を行っている。

$$\bar{\psi}_j^1 = \frac{1}{4}\psi_{j-1}^1 + \frac{1}{2}\psi_j^1 + \frac{1}{4}\psi_{j+1}^1 \dots\dots\dots (5)$$

図より、従来の個別要素解析では、引張において巨視的粘性係数が変形と共に大きく増大して行くのに対し、式(2)による補正を行った場合、引張、圧縮のいずれにおいても変形によらずほぼ一定で等しい値をとっている様子がわかる。また、このことから、ここに示した ψ の評価方法が適切であることも確かめられる。

5. おわりに

巨視的性質が変形に依存しない個別要素解析手法を提案し、その際に必要となる接触点密度関数の評価方法について検討した。ここに示した解析例では、一様な応力場が対象であったが、非一様場に対しても、その有効性を今後検討する必要がある。

参考文献

- 1) 阿部・宮野：積雪変形解析のための個別要素解析手法、構造工学論文集 Vol.38A,339-350,1992.
- 2) 阿部・青木：粘性粒子集合体の巨視的性質について、構造工学における数値解析法シンポジウム論文集第17巻,109-114,1993.

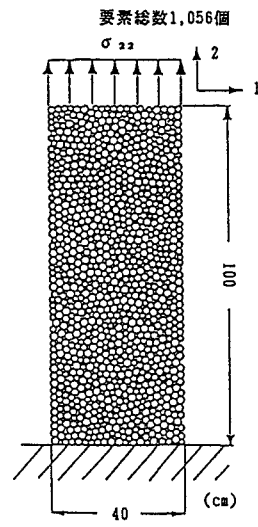


図-2 解析条件

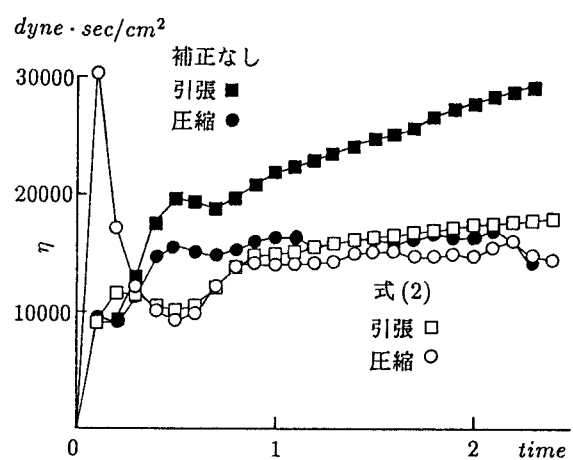


図-3 変形に伴う巨視的粘性係数の変動