

鹿児島大学工学部 正員 北村 良介
 復建調査設計(株) 宮崎 保通

1. まえがき

北村らは、マルコフ・モデルと称する粒状体の力学モデルを提案し、豊浦砂の圧縮、せん断挙動、しらすのせん断挙動を本モデルが良好に表現できることを明らかにしてきている^{1), 2)}。さらに、本モデルを浸透現象へも適用させるための若干の考察を行っている³⁾。

本報告では、マルコフ・モデルをより包括的なモデルとすることを目的とし、本モデルを浸透、圧密現象へ適用する手順について述べる。

2. 浸透モデル

粒状体は不規則な大きさ、形状を有する粒子の集合体であり、必然的にそれらによって生ずる間隙の大きさ、形状も不規則である。したがって、粒子スケールでの間隙の特性を把握するには統計・確率論を利用した考察を行うことが有用である。このような認識に立ち、ここでは、オイラー的方法を用いて、粒状体の透水係数、間隙比の誘導を試みる。

図-1は、土粒子実質部分と間隙をモデル化したものである。すなわち、図は、粒状体を細かく分割した小部分(以下、これを素体積と称することにする)の間隙と土粒子実質部分を平均的に管径 D 、その傾きが θ

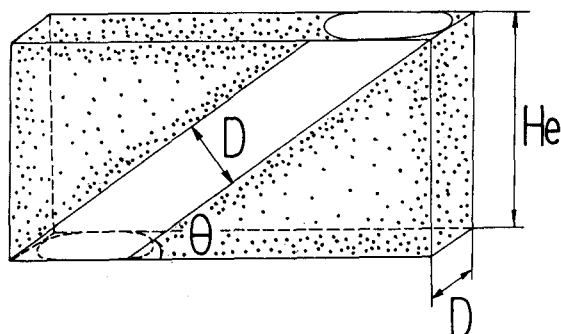


図-1・間隙モデル

のパイプとその他の部分に分けたものである。素体積のスケールとしては、図の H_e が粒状体の平均粒径程度のものを想定している。管径 D と傾き θ を確率変数とし、それらの確率密度関数を $P_d(D)$ 、 $P_c(\theta)$ とする。管内の流れが、Poiseuilleの法則に従い、さらに、粒状体全体としては Darcyの法則に従うものとする、統計・確率論的手法を用いて、粒状体全体としての平均的な透水係数 k 、及び、間隙比 e は次式によって求められる³⁾。

$$k = \int_0^{\infty} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{D^2 \cdot \gamma_w \cdot \sin \theta}{32 \cdot \mu} P_c(\theta) \cdot P_d(D) d\theta dD \quad (1)$$

$$e = \int_0^{\infty} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{D \cdot \pi}{\sin \theta} \left(\frac{D}{\sin \theta} + \frac{H_e}{\tan \theta} - \frac{D \cdot \pi}{4 \cdot \sin \theta} \right) P_c(\theta) \cdot P_d(D) d\theta dD \quad (2)$$

ここに、 μ ；流体の粘性係数、 γ_w ；流体の単位体積重量。

図-1に示した浸透モデルは、確率密度関数 $P_d(D)$ 、 $P_c(\theta)$ が浸透特性を反映したものとなっている。すなわち、 $P_d(D)$ は粒状体内の間隙分布、粒径分布と関連し、 $P_c(\theta)$ は粒子の接点角分布と関連しているものと考えられる。これらの要素の関係の解明は、Poiseuilleの法則の妥当性、有効間隙率の概念の導入などととも今後の課題である。実際の地盤材料を用いた浸透実験等を行うことにより検討していきたい。

3. 圧密現象への適用

ここで考察の対象とする圧密現象とは、応力状態の変化によって粒状体内に発生した過剰間隙水圧の消散

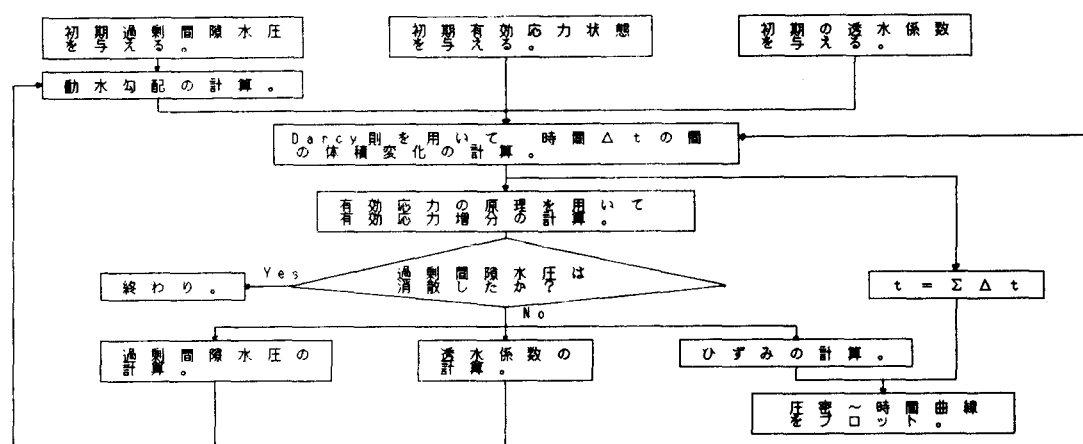


図-2: マルコフ・モデルの圧密現象への適用を示したフローチャート

に伴う圧密現象を意味している。すなわち、粒子接点での粘性的な特性に基因すると考えられるいわゆる二次圧密は考慮していない。過剰間隙水圧の消散に伴う圧密現象は、間隙水の排出、そして、有効応力の増加によって生ずる圧縮、せん断挙動が組み合わさった時間に依存する挙動と考えられる。したがって、マルコフ・モデルを圧密現象に適用する際には、これまでに圧縮、せん断、浸透現象に適用された本モデルを総合的に利用する必要がある。

図-2は、このような認識のもとに、マルコフ・モデルを圧密現象へ適用する手順を示したフローチャートである。まず、初期過剰間隙水圧分布、初期の有効応力状態、および、初期透水係数が入力データとして与えられる。すると、粒状体内の動水勾配が計算され、次式で示される Darcy の法則を用いて時間 Δt の間の体積変化 ΔV が計算される。

$$\Delta V = k \cdot i \cdot A \cdot \Delta t \quad (3)$$

ΔV ; 体積変化, k ; 透水係数, i ; 動水勾配
 Δt ; 微小時間 A ; 断面積

さらに、圧縮・せん断に適用されたマルコフ・モデルを用い、(3)式で計算された体積変化を生じさせる有効応力が逆算される。そして、有効応力の原理を用い、計算された有効応力より、過剰間隙水圧が消散したかどうかのチェックを行い、まだ消散していない場合には、過剰間隙水圧、および、浸透モデルによる透水係数の計算、圧縮・せん断に対するマルコフ・モデルを用いたひずみの計算がなされ、過剰間隙水圧が消散するまで同様の手順がくり返される。そして、圧密～時間曲線が求められる。

4. あとがき

本報告では、粒状体の浸透、圧密現象へのマルコフ・モデルの適用手順について述べた。そして、粒状体の圧縮、せん断、浸透、圧密現象は、マルコフ・モデルによって有機的に関連したものとして総合的に解析していくことが可能であることが示された。圧密現象に対するモデルは、今後、コンピュータプログラムを作成し、数値実験と土質実験を比較、検討することにより妥当性が明らかにされなければならない。また、全体的なモデルについても、粒子スケールでの粒状体のさらに精度のよい力学特性の把握が必要である。

参考文献

- 1) 北村、川井田、佐藤：第19回土質工学研究発表会、pp. 291-300, 1984
- 2) 北村、新地：第20回土質工学研究発表会（投稿中）、1985
- 3) 北村、宮崎：昭和59年度土木学会西部支部研究発表会、III-23, 1985