有限要素法による圧密解析法

京都大学工学部　正会員　松尾新一郎
京都大学工学部　正会員○青木一男
京都大学工学部　学生員　会田武彦

1. はじめに

Terzaghi理論に基づく圧密解析は、簡単であり数多くの解析例があるが、間げき水の連続式のみを考慮しているため、応力ー変形関係は別個にしか算定できず実際の圧密現象と一致しない場合が多い。本研究では、時間的および場所的に変化するC_v値，m_v値，k値，層厚を考慮した非線形の応力ー変形特性をTime・Stepごとに導入することによりTerzaghi理論の欠点を補うものであり、実用的と考えられる。すなわち微小時間Δt内ではTerzaghi理論が成立しているが、Δtの集合体としての全体の圧密期間を考えれば非線形の応力ー変形特性をも同時に考慮した圧密解析になる。

2. 間げき水圧の算定方法

本研究では、式(1)に示すようなSchiffman[1]の式を圧密基礎方程式として用いる。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \nabla^2 u + R \quad \text{------(1)} \qquad ここに \quad R = \frac{Q}{m_v} + \frac{\partial \sigma_m}{\partial t}$$

Rは、その第1項が土要素内で内部的に発生する水頭変化Qに起因するものであり、第2項は外的な作用全応力の時間的変化である。

ここで問題を2次元に限定し、簡単のためR＝0の場合について述べることにする。

式(1)は、
$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) \quad \text{------(2)}$$

となる。さて鉛直方向の圧密係数C_vと水平方向の圧密係数C_hとは、区別しなければならないが、対象とする地盤が埋立地のような軟弱粘土であるので、$C_v \fallingdotseq C_h$とみなしている。

次に境界条件としては、

$$u = f \quad : on\ S_1 \quad , \qquad -C_v\frac{\partial u}{\partial n} = V_n \quad : on\ S_2 \quad \text{------(3)}$$

このように式(2)を境界条件式(3)のもとで、F.E.M解析を行なうのであるが、これは、多くの報告がある非定常浸透問題の解析方法を利用することにより、間げき水圧(有効応力)を算定することができる。[2] 算定方法の詳細は省略する。

3、応力ー変形特性

2.でTime・Stepごとの有効応力の増分Δpが算定された。この応力増分によりどのように変形するかを解析する。解析にあたってΔtの微少時間内では、弾性体と考え一般に使用されている弾性理論によりF.E.M解析を行なった。

さて応力ー変形特性を非線形として取扱うためのパラメータについて説明する。通常非線形性を考慮する場合に2つのグループに分けられる。そのひとつは、粘土層全体を代表

するパラメータが、圧密期間中時間とともに変化するもの、他方は、時間的変化は考えず粘土層の深度方向つまり場所的に変化するものである。本研究においては、上の両者を考慮する。すなわち圧密現象のパラメータm_v値, C_v値が、有効応力pと両対数で線形の関係にあるとしているが、このpは、式(1)の解として求めることにより、当然時間的にも場所的にも変化する値として求められる。よって、m_v値 C_v値は

$$m_v = f(p) = f'(t,x,y), \quad C_v = g(p) = g'(t,x,y)$$

として与えられる。

これらの関係を求めるため、Δpを小さくし荷重段階を多くした圧密試験を行なった結果、図－1，図－2のような関係が得られ

$$\log m_v = -0.987 \log p - 0.778$$
$$\log C_v = 0.304 \log p - 3.905$$

となった。ここでΔpを小さく分割したのは、パラメータに層厚の減少による影響を除くためである。

よって $m_v = (1+\nu)(1-2\nu)/(1-\nu)E$ なる関係より $\nu = 1/3$ としてEの時間的、場所的変化を考慮した非線形応力－変形特性が与えられる。また層厚の変化であるが、軟弱粘土では、沈下量が層厚の1/3程度となり無視できないファクターとなっているので本研究では、Time・Stepごとに沈下量を考慮し、座標変換して層厚の変化を導入した。

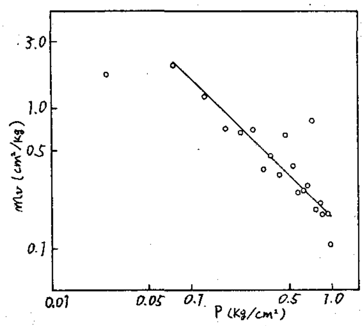

図-1 体積圧縮係数と圧密応力の関係

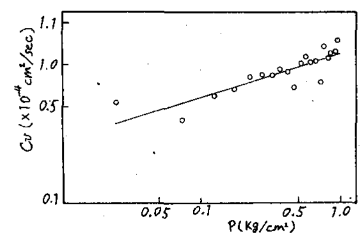

図-2 圧密係数と圧密応力の関係

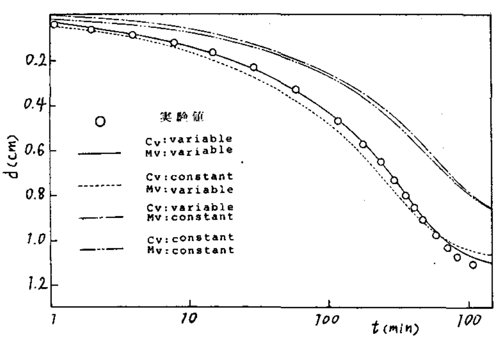

図-3 沈下量－時間曲線

4、解析例

本報告では、具体的な多次元問題まで解析に至っていないので、簡単のため一次元問題に適用した結果を示す。図－3は、C_v, m_v, k, および層厚の変化を考慮したものと、さらにC_vあるいはm_vを一定と考えたものとの沈下量－時間曲線である。この図よりC_v, m_v, kを変化させた曲線が、もっとも実験値に近い値を示している。

5、おわりに

応力－変形特性に非線形性を導入し、F.E.Mで圧密問題の解析を試みた結果、かなりの精度で沈下の予測が可能になることが明らかになった。今後は、多次元圧密および、式(1)の$R \neq 0$の場合について解析を行ない、現場での実測値と比較検討を行なう予定である。

〈参考文献〉

1) Schiffman, R,L ; Consolidation of soil under Time-Dependent Looding and Varying Permeability , Proc. HRB. 37(1958)

2) 松尾，青木；軟弱粘土の圧密促進法，土木学会年講Ⅲ，1977.