

I-B 347 二次元飽和多孔質粘弾性体における間隙水圧の過渡応答解析

奥村組 正員 ○ノ瀬泰治
神戸大学大学院 学生員 東 隆史
神戸大学工学部 正員 北村 泰寿

1. まえがき

薄層要素-離散化波数法による変位の過渡応答解析については文献1)に報告した。また、同解法の間隙水圧の過渡応答解析への適用性について文献2)に報告したが、十分な結論を得ていなかった。その後の検討により同解法の妥当性が確かめられたので、今回その結果を報告するとともに、若干の応用例について示す。なお、文献1)では骨格の内部減衰は無視しているが、本研究では骨格は粘弾性体とする。

2. 解析手法の概要

剛基盤を有する二次元飽和多孔質粘弾性体において、表面を x 軸とし、深さ方向に y 軸をとる。Biotの全応力表示を用いた時間領域の支配微分方程式に対して、区間 $|x| \leq L/2$ の有限フーリエ変換を施せば、波数空間での支配方程式が得られる。ここで、 L は鏡像ソース点間距離と呼ばれる。

つぎに、深さ y 方向に N 個の薄層要素に分割し、本研究では薄層内の変位を1次の変位関数で表す。これを重み関数として波数空間の支配方程式にガラーキン法を適用すれば、薄層要素に対する運動方程式を得る。これを全薄層に対して重ね合わせ、最下端（剛基盤面）の境界条件を考慮すれば、全体系に対する運動方程式が次式のように導かれる。

$$\left\{ [M] \frac{d^2}{dt^2} + [C_n] \frac{d}{dt} + [K_n] \right\} \{\tilde{U}_n\} = \{\tilde{F}_n\} \quad (1)$$

ただし、 $\{\tilde{U}_n\}$ 、 $\{\tilde{F}_n\}$ は薄層境界における骨格変位・骨格と間隙水の相対変位、全応力、間隙水圧で構成されるベクトルである。添字 n は離散化波数 $\xi_n = 2n\pi/L$ に対応する諸量であることを表している。また、マトリックス $[M]$ 、 $[C_n]$ 、 $[K_n]$ は文献1)、3)から誘導できるので、詳細は省略する。

式(1)にモード解析を適用するに当たって、この固有値問題は直接解けない。本研究では、Possの解法を利用し、減衰系のモード解析を行う。これより、波数空間での速度・変位解が得られるので、実空間に戻す操作によって任意の加振力に対する速度・変位解が次式のように求まる。

$$\begin{Bmatrix} \dot{U} \\ U \end{Bmatrix} = \frac{1}{L} \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{-i\xi_n x} \int_0^t \{A_n\} \{ \Theta_n(t-\tau) \} \{A_n\}^T \{ \tilde{T}_n(\tau) \} d\tau \quad (2)$$

ここに、 $\{\tilde{T}_n\}^T = [\{\tilde{F}_n\}^T, \{0\}^T]$ 、また $\{A_n\}$ はモーダルマトリックス、 $\{\Theta_n(t)\}$ はモードの時間変動を表す対角マトリックスである。

加速度は式(2)を時間微分することによって得られる。したがって、変位、速度、加速度を式(1)に重ね合わせる前の各薄層要素の運動方程式に代入すれば、薄層境界面での全応力、間隙水圧が求まる。

3. 計算結果と考察

本研究では、文献3)の解析モデルに対して計算する。材料定数は紙面の都合で同文献に譲るが、粘弾性係数は10Hzで減衰定数が2%になるように与えた。参考のため、S波速度は200m/sであることを付記しておく。まず、図-1の解析モデルに対して、調和加振力が作用するときの骨格変位、間隙水圧を求め、文献3)の結果と比較する。その際、同文献の弾性係数を複素弾性係数に置き換えて周波数領域解を再度計算した。また、薄層分割数は $N=10$ 、離散化波数の個数は $n=80$ 、鏡像ソース点間距離は $L=500m$ 、時間刻みは $\Delta t=0.005sec$ とした。

図-2、3は、調和加振力の振動数が16Hzのときの骨格の鉛直変位、間隙水圧の

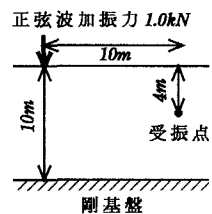


図-1 解析モデル

時刻歴応答である。なお、文献3)の波形については位相の調整は行っていない。本研究の結果は過渡状態から定常状態に移行し、定常状態では文献3)の振幅とほぼ一致している。

図-4、5は、骨格の鉛直変位および間隙水圧の周波数応答を比較したものである。本研究の結果は、それぞれの加振振動数に対して図-2、3のように時刻歴応答を求め、定常状態における振幅を読み取ったものである。両図より、両者は良く一致しており、本研究の数値解法の妥当性は確かめられたと言える。

つぎに、計算例として、図-6に示す透水係数の異なる成層モデルにおいて、表面の鉛直点加振による間隙水圧の挙動を調べる。透水係数以外の材料定数は、図-1の解析モデルと同じである。

図-7は、加振力が12Hzの正弦半波のとき、水平振源距離が10mの地点で深

さ方向に1mピッチで間隙水圧の時刻歴応答を描いたものである。モデル①、②は、単層のモデル③と異なる挙動を示しており特徴的である。モデル①では、5m以深で間隙水圧が大きくなっており、難透水性のB層と不透水の剛基盤に挟まれたA層は被圧状態になるためと推察される。一方、モデル②では、5m以深のB層で間隙水圧の上昇が見られないが、これは透水性の小さいB層へ間隙水の圧力波動が伝わり難いことを表していると考えられる。また、モデル③では深さ1mの間隙水圧がやや大きくなっており、モデル①も若干その傾向を示している。文献3)の加振振動数が20Hzの調和加振解でもこの傾向が見られる。加振振動数が高く、透水係数が小さい場合、地表面での排水による間隙水圧の逸散が生じ難いものかも知れない。

〔文献〕1)北村他:構造工学論文集、1996。 2)一ノ瀬他:応用力学連合講演会、1996。 3)北村他:土木学会論文集、No. 513、1995。

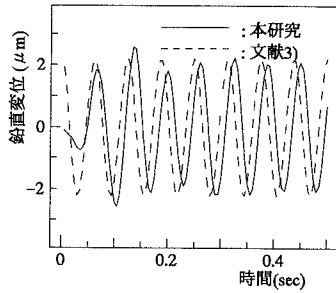


図-2 鉛直変位

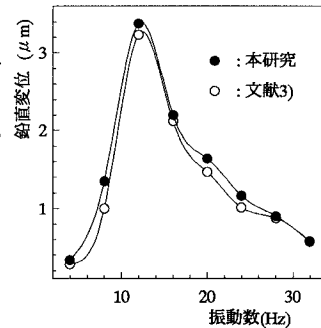


図-4 鉛直変位

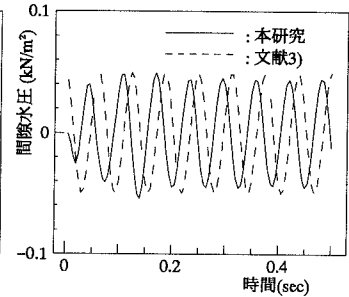


図-3 間隙水圧

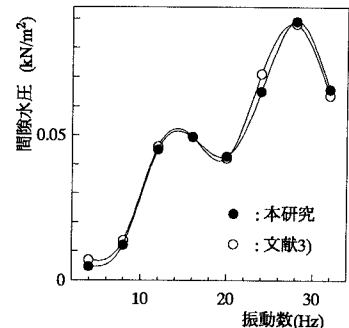


図-5 間隙水圧

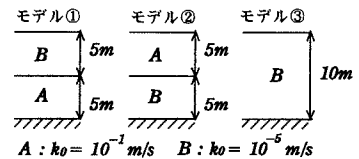


図-6 成層地盤モデル

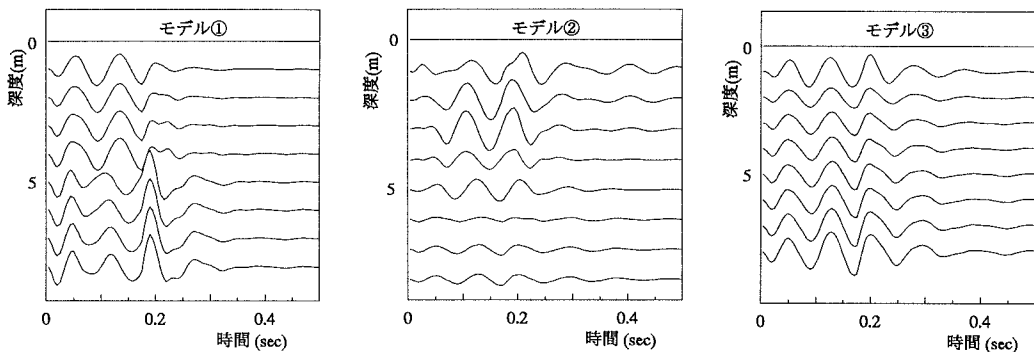


図-7 深さ方向への間隙水圧波形の変化