

1. まえがき

実測例によれば、車両が路面の局所的な段差を通過するとき、大きな振動が発生することが知られている。また、地盤条件が沿道への振動伝達特性に大きな影響を与える。このため、地層構成を考慮した時間領域での道路交通振動の解析が必要となる。本研究は、薄層要素-離散化波数法¹⁾の適用を試みたものである。

2. 解析手法の概要

薄層要素-離散化波数法は以下のように定式化される。三次元弾性体に点加振力が作用するとき、変位場 $\mathbf{u}$ は surface vector harmonics $\mathbf{R}_k^s(r, \theta)$, $\mathbf{S}_k^s(r, \theta)$, $\mathbf{T}_k^s(r, \theta)$ を用いてつぎのように表現できる。

$$\mathbf{u}(r, \theta, z, t) = \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=0}^{\infty} [U_{zkn}(z, t) \mathbf{R}_{kn}^s(r, \theta) + U_{rkn}(z, t) \mathbf{S}_{kn}^s(r, \theta) + U_{\theta kn}(z, t) \mathbf{T}_{kn}^s(r, \theta)] \quad (1)$$

ここに、 k_n は $J_m(k_n R) = 0$ を満足する離散化波数である。ただし、 $J_m(\cdot)$ は第1種Bessel関数であり、数値計算においては、鏡像ソース点からの波動が解を乱さないように、 R を十分に大きな値に設定する。

式(1)より、変位応答を求めることは U_{zkn} , U_{rkn} , $U_{\theta kn}$ を求めることに帰着される。これらを求めるために、式(1)を波動方程式に代入し、薄層要素法を適用して離散化する。この離散化式をモーダルアナリシスを用いて解けば、次式のように各層ごとの係数が求まる。

$$\{U(t)\}_{kn} = \int_0^t [V]_{kn}^m [\Lambda(t-\tau)]_{kn}^m [V]_{kn}^m{}^T \{F(\tau)\}_{kn}^m d\tau \quad (2)$$

ここに、 $\{F(\tau)\}$ は薄層境界面での物体力ベクトル、 $[V]_{kn}^m$ は波動方程式を離散化することによって得られるモーダルマトリックス、 $[\Lambda(t-\tau)]_{kn}^m$ は表面波モードの時間変動を記述するマトリックスである。

3. 適用上の問題

鏡像ソース点間距離である R の値を大きくすれば、 $J_m(k_n R) = 0$ を満足する離散化波数 k_n のきざみが小さくなり、精度は向上することになる。しかし、式(1)の項数 n を多く取らなければ、この精度は保証されない。この場合、モーダルアナリシスにおける固有値問題を解く回数が増すことになり、数値計算上得策ではない。したがって、適切な R と n の関係を見い出す必要がある。

一方、解析時間内に鏡像ソース点から到達する波動が解を乱さない程度に、 R の値は確保されなければならない。これより、 R の値は(解析時間)×(縦波速度)程度の値が必要である。また、経験的に個数 n を120以上としなければ、得られる解の精度は悪くなるようである。一例として、後述のCase Aの一様地盤において、パルス状の加振力が作用するときの応答波形を図-1に示す。振源距離を20 m、 $n = 150$ として、 R が1 km (図-a)と300 m (図-b)の場合を比較したものであるが、他の計算例に対する結果もふまえて、 $R = 300$ mの波形が適正なものと判断した。したがって、観測点が例えば5 mと100 mの離れた2点の場合には、数値計算の精度上 R と n の設定を変更して計算する必要がある。

薄層要素の厚さについては、実測例において発生振動数が20 Hz程度以下であることを考えて、せん断波の波長(伝播速度/20)の約1/20とする。

4. 計算結果

地盤モデルとして、図-2に示す3種類の地盤(Case A～C)を対象とする。Case Aは一様地盤、Case BおよびCase Cは文献²⁾から引用したものである。なお、剛基盤はN値が45以上の値を取る層に設定している。また、車両が段差を通過するときの動的接地荷重を想定して、加振力は継続時間0.05秒、振幅15 tfのsin半波とする。

図-3は、振源距離が10、30、50 m地点での変位応答波形である。図-4は、振動速度波形から最

Kouji TANAKA and Yasutoshi KITAMURA

大値を読み取り、その距離減衰を描いたものである。図-3より、振源距離によるCase B, Cの応答波形の変化は、Case Aのそれに比べて複雑になっている。これは、Case B, Cの地層構成の影響と考えられる。また、両図よりCase Cの地盤の応答値は、他の2つの地盤のそれに比べて大きな値となっており、軟弱な表層地盤の影響によるものと考えられる。

5. あとがき

本研究では、薄層要素-離散化波数法を適用し、道路交通振動問題の時間領域解析を試みた。本報では、地盤モデルや接地荷重などかなりの簡略化を行っている。今後は、地盤の半無限性と粘性減衰効果、また車両の動特性を考慮した接地荷重を解析に取り入れるなど、より現実に近づける必要があろう。

〔文献〕1) 東平：第22回地震工学研究発表会，1993。

2) 花里・鶴飼：第28回土質工学研究発表会，1993。

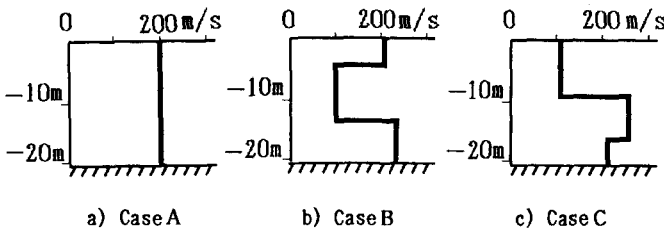


図-2 解析地盤のせん断波速度分布

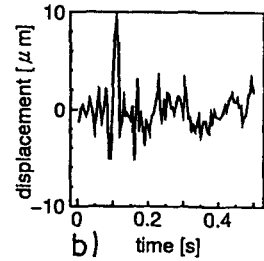
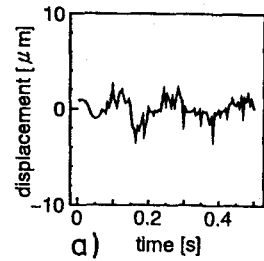


図-1 R の影響

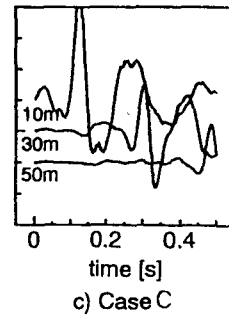
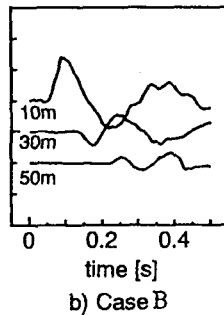
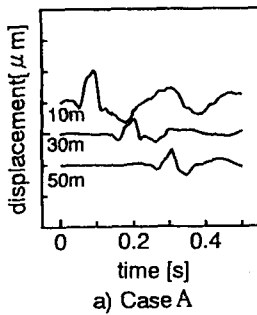


図-3 変位応答波形

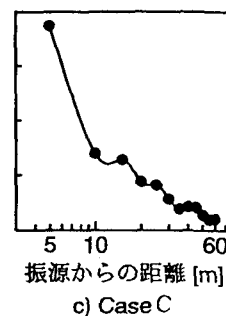
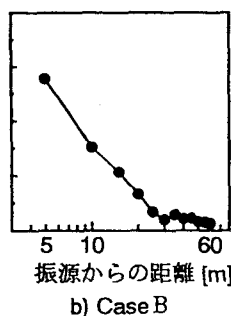
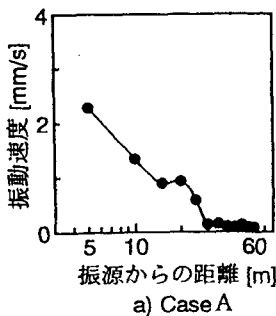


図-4 振動速度の距離減衰