

I-B115 移動調和振動荷重による地盤振動の特性と解析法に関する検討

(株)奥村組 正 員 ○松尾 幸治
神戸大学工学部 正 員 北村 泰寿

1. はじめに

半無限弾性地盤、剛基盤上の弾性地盤、二層弾性地盤の表面を移動する調和振動荷重に対する理論解を誘導し、それぞれに対する振動性状を報告した^{1)~3)}。また、薄層要素-離散化波数法を適用した数値解析法を展開し、地盤振動解析への適応性について検討した⁴⁾。本研究では、前報1)~3)に更なる検討を加えるとともに、その検討を踏まえて前報4)の数値解に対する検証を補足した。

2. 基礎式

解析モデルとして、 x, y 平面を地表面、 z 軸を深さ方向にとり、調和振動荷重 $P_z e^{ipt}$ の移動方向を x 軸とする。 x, y 軸および時間 t に関してフーリエ変換を施せば、変位は次式のような形に書ける。

$$u(x, y, z, t) = \frac{P_z}{(2\pi)^2} \iiint_{-\infty}^{\infty} \tilde{u}(\xi, \eta, z, \omega) \delta(\xi V - \omega + p) e^{-i(\omega t + \xi x + \eta y)} d\omega d\xi d\eta \quad (1)$$

ここに、 u は変位ベクトル、 p は加振力の円振動数、 V は移動速度、 P_z は荷重振幅である。

源栄ら⁵⁾は、 z 方向に薄層要素を用い、 ξ に関してはデルタ関数の性質を利用し、 η に関しては解析的に処理している。また、竹宮ら⁶⁾は z 方向に一般解を用い、 ξ に関してはデルタ関数の性質、 η に関しては離散化波数法を適用している。なお、両者とも ω に関しては高速フーリエ逆変換を利用している。

一方、前報4)では、 z 方向に薄層要素を用い、 ω に関してはデルタ関数の性質、 ξ に関しては離散化波数法を利用して、 η に関しては解析的に処理している。また、前報1)~3)では $\tilde{u}$ を解析的に誘導し、 ω に関してはデルタ関数の性質を利用して、 ξ, η に関する積分は数値積分によって求めている。なお、本研究では前者を数値解、後者を理論解と呼ぶ。

薄層要素-離散化波数法によって定式した変位(数値解)は次式の形をとる。

$$u(x, y, z, t) = \frac{P_z}{L} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left[\frac{1}{(2\pi)^2} \iint_{-\infty}^{\infty} \tilde{u}_n(\xi_n, \eta, z, \omega) \delta(\xi_n V - \omega + p) e^{-i(\omega t + \eta y)} d\omega d\eta \right] e^{-i\xi_n x} \quad (2)$$

ここに、 ξ_n は離散化波数 ($\xi_n = 2\pi n/L$)、 L は有限区間長である。数値解では、最大波数 ξ_N と区間長 L の決定が問題になる。

3. 計算結果と考察

数値解析に当たっては、荷重の走行速度を 60km/h 、二層地盤の表層、下層の S 波速度を 200m/s 、 400m/s 、また表層、下層とも密度、ポアソン比を 1.8t/m^3 、 $1/3$ とし、荷重振幅を $P_z = 9.8\text{kN}$ 、観測点を $(0\text{m}, 1\text{m})$ とする。なお、半無限弾性地盤、剛基盤上の弾性地盤の S 波速度は 200m/s とする。

図-1は、半無限弾性地盤において、加振振動数が 15Hz のときの理論解による振動波形である。ドップラー効果が生じることはすでに述べたが、波形を詳しく観察すると 0 秒以前の波形には少し乱れが見られる。いま、 $-2 \sim -1$ 秒間をウェーブレット解析すれば図-2の非定常スペクトルが得られる。図-2から、加振振動数は 15Hz であるが、ピーク振動数が約 16Hz に移り、高振動数成分を含む波形となっていることがわかる。なお、 S 波速度に対してドップラー効果式を考えると振動数は 16.36Hz 、レイリー波に対しては振動数は 16.47Hz になる。

図-3は、表層厚(h)が 20m の剛基盤上の弾性地盤において、加振振動数が 15Hz のときの理論解による振動波形である。また、図-4は、表層厚が 20m の二層弾性地盤に対する理論解による振動波形である。図-3で生じているうなり現象は、二層地盤(図-4)および半無限地盤(図-1)では見られない。表層厚が 20m の剛基盤上の弾性地盤では、表層地盤に対する縦振動の2次の固有振動数が 15Hz となってい

地盤振動、移動荷重、調和加振、成層弾性体、数値解析

〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 神戸大学工学部建設学科 TEL 078-803-6024 FAX 078-803-6069

る。15Hzの調和振動とドップラー効果で変化した振動数の調和振動を合成すると、図-3に示すうなり波形とほぼ一致することが分かった。

図-5は、表層および下層厚を10m、20mとする剛基盤上の二層弾性地盤に対して、有限区間長を $L=500m$ 、最大波数を $\xi_N=3$ とするとき、加振振動数が10Hzのときの数値解による振動波形である。一方、図-6は同条件の二層弾性地盤に対する理論解による振動波形である。図-5ではうなり現象が見られるが、図-6の二層弾性地盤では生じていない。また、剛基盤上の二層弾性地盤に対する縦振動の2次固有振動数は13.91Hzとなり、うなり現象は生じ難い。これらの考察から、図-5の現象は数値解析上の問題と考えられる。

図-7は、有限区間長 L の影響を知るため、半無限弾性地盤において、離間距離500mの3連行振

動荷重（振動数10Hz）に対する振動波形を理論解により得たものである。うなりに近い波形は見られるが、図-5を説明し得るものではない。図-8は、 $\xi_N=3$ のもとで、 $L=1000m$ としたときの数値解による振動波形である。図-5に比べ、うなり現象はかなり改善されていることがわかる。しかし、 L を大きくすることは離散化波数の打ち切り項数 N を大きくすることになり、計算コストの増大につながる。

4. あとがき

本報では地盤の粘性を無視したが、前報4)によれば地盤を粘弾性地盤にモデル化し、最下端に粘性境界を設けることによって振動波形は滑らかになっている。実際の地盤を想定するとき、粘性の導入は自然であり、粘弾性多層地盤を容易に取り扱い得る前報4)の数値解析法は有効な手段であろう。

[文献]

- 1) 北村・武居:土木学会関西支部年次学術講演会, 1998.
- 2) 北村・松尾・武居:土木学会第53回年次学術講演会, 1998.
- 3) 松尾・北村:土木学会関西支部年次学術講演会, 1999.
- 4) 北村・松尾:土木学会関西支部年次学術講演会, 1998.
- 5) 源栄・菅原・永野:日本建築学会構造系論文集, 第462号, 1994.
- 6) 竹宮・合田:土木学会論文集, No. 605/I-45, 1998.

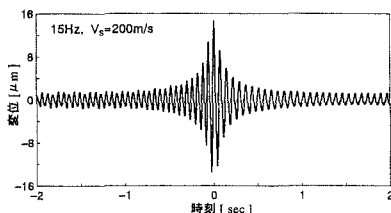


図-1 半無限弾性地盤（理論解）

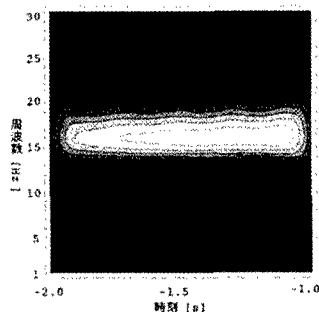


図-2 ウェーブレット解析

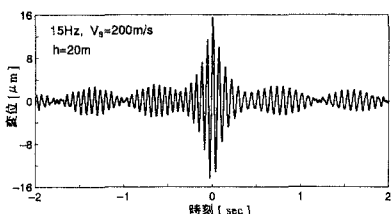


図-3 剛基盤上の弾性地盤（理論解）

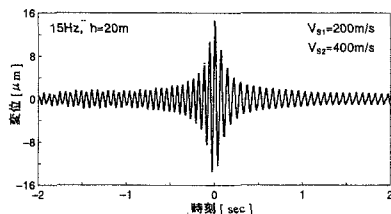


図-4 二層弾性地盤（理論解）

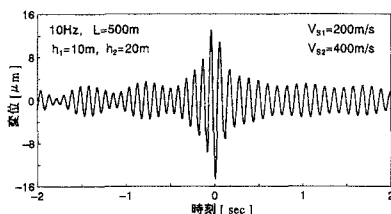


図-5 有限区間長 $L=500m$ （数値解）

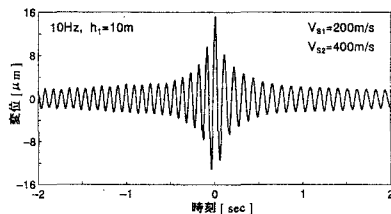


図-6 二層弾性地盤（理論解）

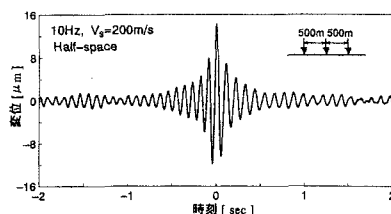


図-7 3連行振動荷重（理論解）

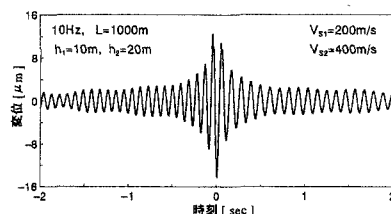


図-8 有限区間長 $L=1000m$ （数値解）