

I - B 230

移動調和振動荷重による成層弾性体の振動解析について

神戸大学工学部 正 員 北村 泰寿
 神戸大学大学院 学生員 ○松尾 幸治
 神戸大学大学院 学生員 武居 智

1 はじめに

本研究に先立ち、移動調和振動荷重に対する半無限弾性体の理論解¹⁾および薄層要素-離散化波数法による成層地盤の数値解²⁾について発表した。その際、数値解を半無限理論解と比較するとともに、数値解に及ぼす諸パラメータの影響について調べたが、これらは厳密な意味での数値解の検証にはなっていない。本研究では、剛基盤上の弾性体に対する理論解を誘導し、この解との比較を通して薄層要素-離散化波数法による数値解析の有効性を示すこととした。

2 基礎式

図-1のように剛基盤上の弾性体（深さ H ）を考え、 x, y 平面を地表面、荷重の移動方向を x 軸とする。いま、円振動数 p 、振幅 Q の調和振動荷重が一定速度 V で x 軸の正方向に移動するとき、表面の鉛直変位解 w は次式のように誘導できる。

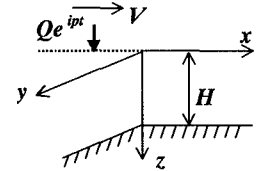


図-1 解析モデル

$$w = -\frac{Q}{4\pi^2\mu} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(\xi x + \eta y)} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \frac{W(k)}{T(k)} \delta(\omega - p - \xi V) e^{i\omega t} d\omega \right] d\xi d\eta \quad (1)$$

ただし、

$$\begin{aligned} W(k) &= k_s^2 \alpha \left\{ (k^2 - \alpha\beta) \left\{ e^{(\alpha+\beta)H} - e^{-(\alpha+\beta)H} \right\} - (k^2 + \alpha\beta) \left\{ e^{(\alpha-\beta)H} - e^{-(\alpha-\beta)H} \right\} \right\} \\ T(k) &= (k^2 - \alpha\beta) \left\{ e^{(\alpha+\beta)H} + e^{-(\alpha+\beta)H} \right\} F(k) - (k^2 + \alpha\beta) \left\{ e^{(\alpha-\beta)H} + e^{-(\alpha-\beta)H} \right\} \bar{F}(k) + 16k^2\alpha\beta \\ \alpha &= \sqrt{k^2 - k_p^2}, \quad \beta = \sqrt{k^2 - k_s^2}, \quad F(k) = (2k^2 - k_s^2)^2 - 4k^2\alpha\beta, \quad \bar{F}(k) = (2k^2 - k_s^2)^2 + 4k^2\alpha\beta \end{aligned}$$

ここに、 $k^2 = \xi^2 + \eta^2$ 、 k_p 、 k_s はP波、S波に対する波数、 μ はせん断弾性係数、 $\delta(\)$ はディラックのデルタ関数である。また、式中の x, y は時刻 $t=0$ のときの荷重位置を原点とする観測点の座標を表す。

式(1)の積分において、 $[\]$ 内の ω に関する積分は $\omega = p + \xi V$ のときのみ意味を持つ。さらに、積分変数の変換を行えば、式(1)は次式のように変形できる。

$$w = -\frac{Qe^{ip t}}{4\pi^2\mu} \int_0^\infty \int_0^{2\pi} \frac{k W(k, \lambda_p, \lambda_s)}{T(k, \lambda_p, \lambda_s)} e^{ik\{(Vt-x)\cos\theta - y\sin\theta\}} d\theta dk \quad (2)$$

ここに、 λ_p, λ_s は k_p, k_s において $\omega = p + kV \cos\theta$ と置き、 $W(k, \lambda_p, \lambda_s)$ 、 $T(k, \lambda_p, \lambda_s)$ は $W(k)$ 、 $T(k)$ において同様の置き換えを行ったことを意味する。

式(2)の k に関する積分は、分母の関数 $T(k, \lambda_p, \lambda_s)$ が根を有するため、留数と主値積分に分ける。主値積分においては、積分変数 k が大きくなるとともに指数関数の発散が生じるため、 $k \rightarrow$ 大で半無限弾性体に対する被積分関数に漸近させる。また、数値積分の収束を早めるため、 $k \rightarrow$ 大での被積分関数の近似式を差し引く工夫を行う。

3 計算結果とその考察

図-1の解析モデルにおいて、測点を $(0, 1m)$ 、荷重の速度を 60 km/hr 、表層のS波速度を 200 m/s 、密度を 1.8 t/m^3 、ポアソン比を $1/3$ 、荷重振幅を $Q = 9.8 \text{ kN}$ とする。

計算結果として、表層の深さ H および加振振動数 $f (= p/2\pi)$ をパラメータとし、波動の伝播現象に対する簡単な検討とともに、前報²⁾で報告した薄層要素-離散化波数法による数値解の検証も併せて示す。

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 078-803-1022 FAX 078-803-1050

図-2は、 5Hz の振動荷重が移動するときと一定荷重（ 0Hz ）が移動するときの応答を比較したものである。半無限弾性体の場合のように、一定荷重の応答が振動荷重の応答の包絡線とはならない。

図-3には表層の深さが 20m の場合の応答を示したが、 50m の場合のような減衰性を示していない。 20m の場合、 5Hz は表層の縦振動の固有振動数となっているため、特異な応答が生じたものと考えられる。

つぎに、前報2)で報告した薄層要素-離散化波数法による数値解（薄層解と略）の精度について調べる。薄層厚は 1m 、最大離散化波数は 3.0 、離散化した有限区間長は 500m である。

図-4は、表層の深さが 50m の場合と 20m の場合について、薄層解の精度を調べたものである。 50m の場合は両者の応答はよく一致しているが、 20m の場合は表層の共振の影響で全く一致しないことが分かる。

図-5は二次の固有振動数に対応する応答であるが、うなりに似た現象が見られる。この場合、薄層解は理論解と近い応答波形となっており、最大応答値はほとんど一致している。これより、特別な場合を除けば、薄層解は実用的には問題ないとみなせる。なお、薄層解に対して粘弾性体への置き換えや粘性境界の導入を計ったが、これらについては前報2)に報告した。

〔文献〕 1)北村・武居：道路交通車両による地盤振動解析に関する一手法，土木学会関西支部年講，1998。

2)北村・松尾：走行荷重による成層地盤の振動解析に関する一検討，土木学会関西支部年講，1998。

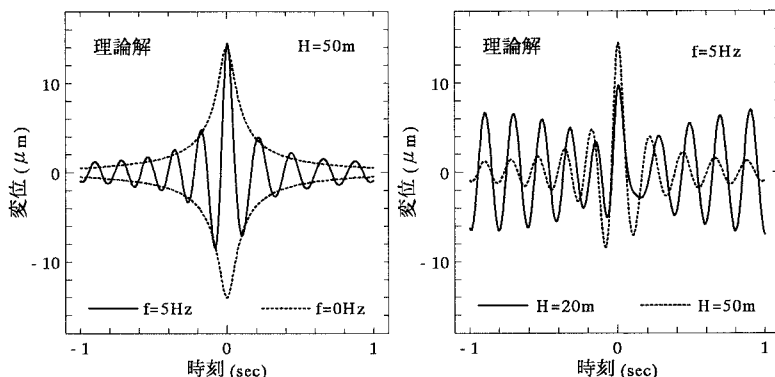


図-2 振動荷重と一定荷重（理論解）

図-3 表層の深さの影響（理論解）

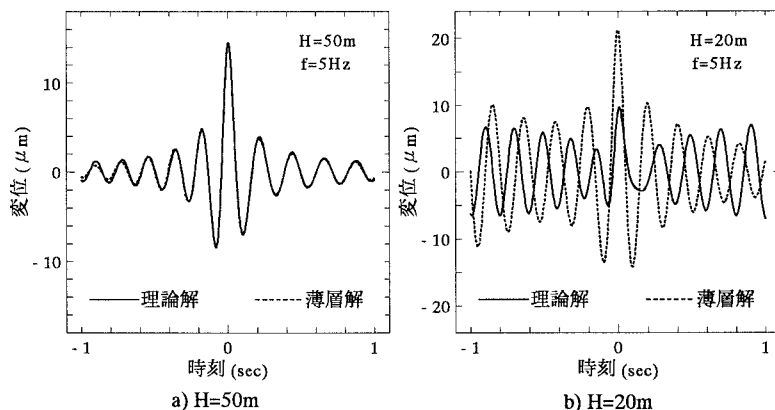


図-4 理論解と薄層解の比較

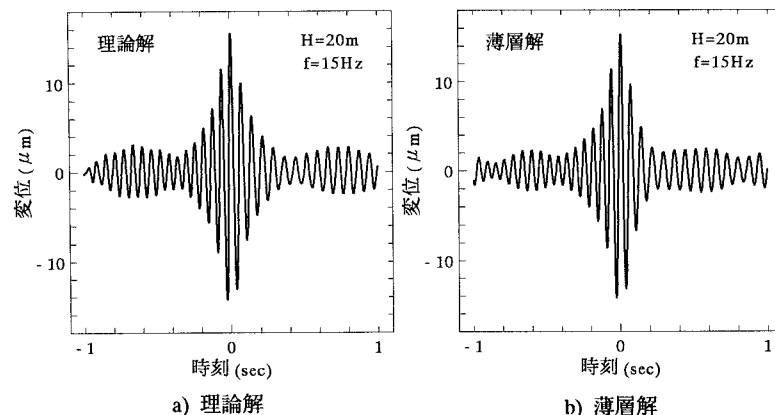


図-5 理論解と薄層解の比較