

神戸大学大学院 学生員 ○松尾 幸治
神戸大学工学部 正 員 北村 泰寿

1 はじめに

著者らは、半無限弾性体表面を移動する調和振動荷重に対する理論解¹⁾、剛基盤上の弾性体表面を移動する調和振動荷重に対する理論解²⁾を誘導し、それぞれのケースに対して波動伝播性状を調べてきた。本研究はこれらを二層弾性体に拡張した理論解を誘導し、層厚、上下層の剛性比などが二層弾性体の波動伝播性状にどのような影響を及ぼすかを調べたものである。

2 基礎式

図-1の二層弾性体に対し、表層の厚さを H 、 x 、 y 平面を弾性体表面、荷重の移動方向を x 軸とする。いま、円振動数 p 、振幅 Q_z 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。

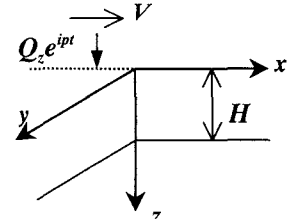


図-1 解析モデル

$$w = -\frac{Q_z}{4\pi^2 \mu_1} \iint_{-\infty}^{\infty} e^{-i(\xi x + \eta y)} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \frac{W(k)}{T(k)} \delta(\omega - p - \xi V) e^{i\omega t} d\omega \right] d\xi d\eta \quad (1)$$

ただし、

$$\begin{aligned} T(k) &= 16\alpha\beta k^2 (\beta^2 + k^2) C - \alpha\beta \{4k^2 A + (\beta^2 + k^2)^2 B\} PR + \{4\alpha^2 \beta^2 k^2 B + (\beta^2 + k^2)^2 A\} QS \\ &\quad + \alpha \{4\beta^2 \delta k^2 - \lambda(\beta^2 + k^2)^2\} DPS + \beta \{4\alpha^2 \lambda k^2 - \delta(\beta^2 + k^2)^2\} DQR \\ W(k) &= k_{s1}^2 \{(\alpha\lambda QS + \beta\delta PR)D + (\alpha\beta BQR - APS)\} \\ \alpha &= \sqrt{k^2 - k_{p1}^2}, \quad \beta = \sqrt{k^2 - k_{s1}^2}, \quad \delta = \sqrt{k^2 - k_{p2}^2}, \quad \lambda = \sqrt{k^2 - k_{s2}^2} \end{aligned}$$

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 はせん断弾性係数で添字 1, 2 はそれぞれ表層、下層を表すものとする。 $\delta(\cdot)$ はディラックのデルタ関数である。式中の $A \sim D, P \sim S$ は紙面の都合上省略する。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。

$$w = -\frac{Q_z e^{ipt}}{4\pi^2 \mu_1} \int_0^\infty \int_0^{2\pi} \frac{k W(k, \lambda_p, \lambda_s)}{T(k, \lambda_p, \lambda_s)} e^{ik\{[Vt-x] \cos\theta - y \sin\theta\}} d\theta dk \quad (2)$$

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 $T(k)$ が根を有するため、留数と主値積分に分けて評価する。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。さらに、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。また、 $k \rightarrow$ 大では θ 方向に関する被積分関数の変動が大きくなるので、級数展開を行い解析的に評価する。

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 $(0m, 1m)$ 、荷重の移動速度 V を 60 km/h 、表層の S 波速度 V_{s1} を 200 m/s

表層、下層ともに密度、ポアソン比をそれぞれ $1.8t/m^3$, $1/3$ とし、荷重振幅 Q_z を 9.8 kN とする。また、計算時の時間ステップは $1/100(s)$ として計算を行う。

本報では、表層の深さ H 、下層の S 波速度 V_{s2} を変化させ、前報 1), 2) で得た半無限弾性体、剛基盤上の弾性体の理論解を併せて利用し、二層弾性体の波動伝播性状を調べる。

まず、加振振動数を 5Hz とし、表層厚 H を 10m , V_{s2} を 300m/s , 600m/s と変化させた場合の比較を図-2 に示す。下層の剛性を大きくしても最大振幅にはほとんど変化はなく、位相のずれのみが見られる。 V_{s2} が 600m/s になれば、剛基盤上の弾性体の応答にほぼ一致している。また前報でも報告したが、加振源が近づく負の時刻には高振動数側に变化し、遠ざかる正の時刻では低振動数側に变化するドップラー効果が確認できる。したがって、位相のずれから判断して、表層と下層の剛性比によってドップラー効果が変わるのではないかと考えられる。

つぎに、 V_{s2} を 600m/s とし、加振振動数が 5Hz , 15Hz の場合について、表層厚の影響を調べると、図-3 のようになる。 15Hz の場合に比べて、 5Hz の応答波形は位相、振幅ともに、表層厚の影響を受けている。いま、基本モード（表面波）の波長を求めると、 5Hz の場合には $95\text{m}/c$ ($H=10\text{m}$), $47\text{m}/c$ ($H=20\text{m}$), 15Hz の場合には $13\text{m}/c$ ($H=10\text{m}$, 20m) となる。これより、波長が表層厚より大きくなる 5Hz の場合には、 15Hz の場合より下層の剛性の影響を強く受けるものと考えられる。

本報では、移動調和振動荷重による二層弾性体の理論解を示すとともに、若干の波動伝播性状について報告した。前報 1), 2) および本報の理論解を援用して、前報 3) の薄層要素-離散化波数法による数値解の検証と、波動伝播性状を詳しく調べたいと考えている。

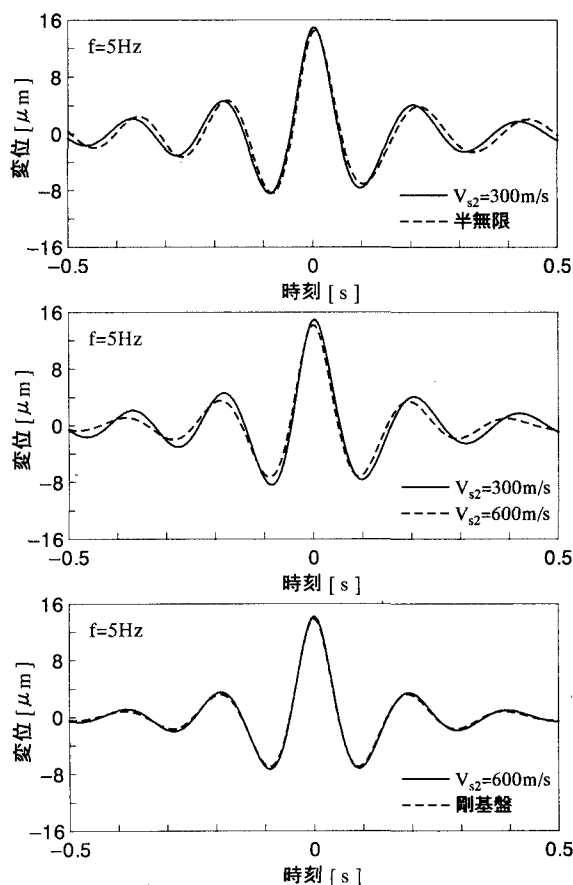


図-2 下層の剛性の影響

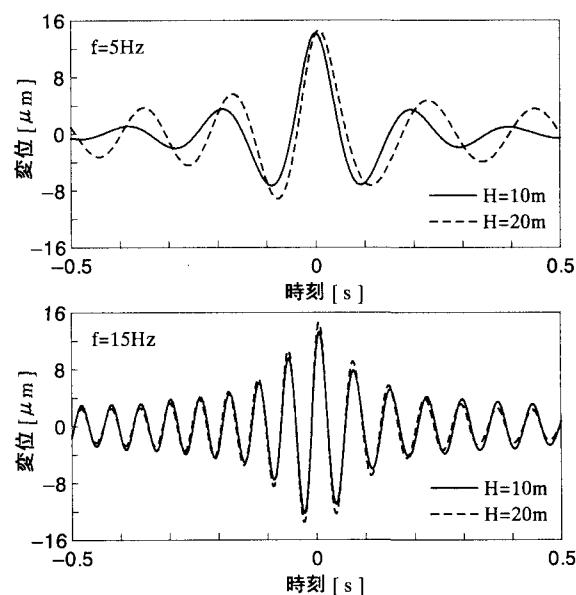


図-3 表層厚による影響

- [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・武居 : 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, 土木学会年講, 1998.
 3) 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.