I －675

# 移動荷重による半無限弾性体の２次元遷移応答解析

岡山大学大学院　学生員　那須　潤
岡山大学環境理工学部　正会員　竹宮　宏和
岡山大学自然科学研究科　正会員　合田　和哉

## 1. まえがき

本研究は、移動荷重に対する地表面の応答を求めることを目的とした。地盤を半無限体でモデル化し、その表面上における帯状分布荷重の移動下の波動場を定式化した。同問題においては、変位を陽な解として求めることは難しいので、速度についての解析解を誘導し、後に速度解より変位解を数値的に求める方法を試みた。また、移動調和加振に対しては、速度解による合積を評価した。

## 2. 定式化（速度解の誘導）

波動方程式から波数領域の変位解を求める。手法として、時間に関して Laplace 変換、空間に関して Fourier 変換を実行し、応力境界条件を考慮する。次に、波数領域の速度解に逆 Laplace 変換、逆 Fourier 変換を順に適用することで時間－空間領域解を求める。その際、逆 Laplace 変換は、Bromwitch 積分を用いた。以上により求められた速度解は、

$$
\begin{aligned}
v_z(x,0,t) &= \frac{1}{4\pi\mu w}\frac{C_R^2 c}{\beta^2(C_R+V)4K(C_R)}\ln\left(\frac{C_R t+x+w}{C_R t+x-w}\right)^2 - \frac{1}{4\pi\mu w}\frac{C_R^2 c}{\beta^2(C_R-V)4K(C_R)}\ln\left(\frac{C_R t-x+w}{C_R t-x-w}\right)^2 \\
&+ \frac{1}{4\pi\mu w}\frac{\dfrac{V^3}{\beta^2}\sqrt{1-\dfrac{V^2}{\alpha^2}}}{\left(2-\dfrac{V^2}{\beta^2}\right)^2-4\sqrt{1-\dfrac{V^2}{\alpha^2}}\sqrt{1-\dfrac{V^2}{\beta^2}}}\ln\left(\frac{x-Vt+w}{x-Vt-w}\right)^2 \\
&- \frac{1}{\pi^2\mu w}\int_\beta^\alpha \frac{\bar{a}^2 b(1+b^2)}{(1-b^2)^4+16\bar{a}^2 b^2}\left\{\frac{\eta}{V+\eta}\ln\left(\frac{\eta t+x+w}{\eta t+x-w}\right)^2+\frac{\eta}{V-\eta}\ln\left(\frac{x-\eta t+w}{x-\eta t-w}\right)^2\right\}d\eta \\
&- \frac{1}{4\pi^2\mu w}\int_\alpha^\infty \frac{a(1+b^2)}{(1-b^2)^2+4ab}\left\{\frac{\eta}{V+\eta}\ln\left(\frac{\eta t+x+w}{\eta t+x-w}\right)^2+\frac{\eta}{V-\eta}\ln\left(\frac{x-\eta t+w}{x-\eta t-w}\right)^2\right\}d\eta
\end{aligned}
$$

ここに $\mu$ ：ラーメ定数　２w：荷重幅　$\alpha$ ：圧縮波速度　$\beta$ ：せん断波速度

$C_R$ ：レイリー波速度　V：荷重移動速度　x ：応答点距離

$$
K(C_R) = \frac{1}{\beta^2}(1+d^2) - \frac{1}{\beta^2}\frac{c}{d} - \frac{1}{\alpha^2}\frac{d}{c}
$$

$$
a=\sqrt{\eta^2/\alpha^2-1} \quad \bar{a}=\sqrt{1-\eta^2/\alpha^2} \quad b=\sqrt{\eta^2/\beta^2-1} \quad c=\sqrt{1-C_R^2/\alpha^2} \quad d=\sqrt{1-C_R^2/\beta^2}
$$

## 3. 数値解析例と考察

解析モデルを図１に、地盤物性を表１にそれぞれ示す。載荷は地表面で、X軸上を直線移動するものとし、移動載荷、移動調和加振についてそれぞれ次式で表わされる。

$$F(t,x) = \Phi(x-Vt)\ ,\ F(t,x) = \Phi(x-Vt)e^{i\omega' t}$$

ここに $\omega'$ は調和振動数

このときの速度応答、変位応答について議論する。変位応答においては、速度と、差分による加速度を用いた Newmark の $\beta$ 法により求めている。

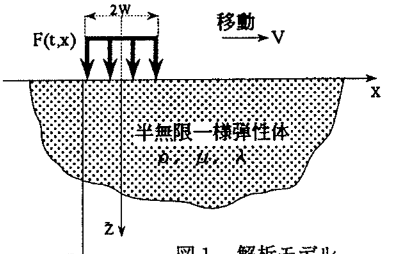


図１　解析モデル

(1)　移動載荷のときの変位応答に関して、速度曲線のピークにおいて数値積分が困難である。そこで、ピーク近傍での積分間隔を十分に小さくとることで結果を導いている。

(2)　各ケースを比較すると、荷重到達後に変位応答の大きなずれが生じている。これは $\alpha$ ～∞の積分の影響、速度曲線でのピークのたち方（差）の影響と考えられる。

(3)　調和加振のときの速度応答、変位応答ともに同様の傾向が得られ、加振力が近

表１　地盤物性値

| | |
|---|---|
| $\nu$ | 0.33 |
| $\rho$ | $1.8 t/m^3$ |
| Vs | 200m/s |

づくときには高振動数成分が、離れるときには低振動数成分が励起されるという効果（ドップラー効果）が現れる。

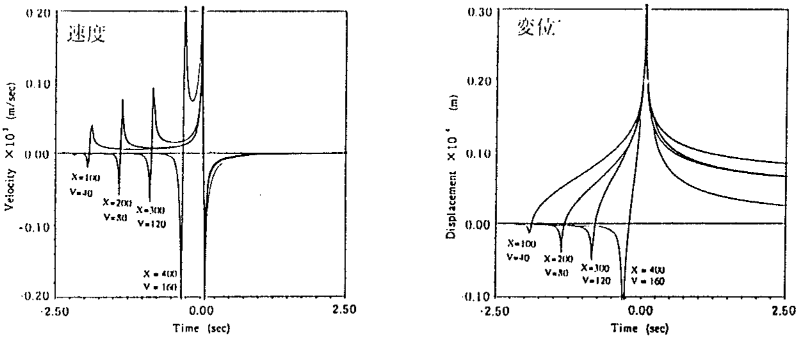


図２ 移動定常加振における鉛直応答

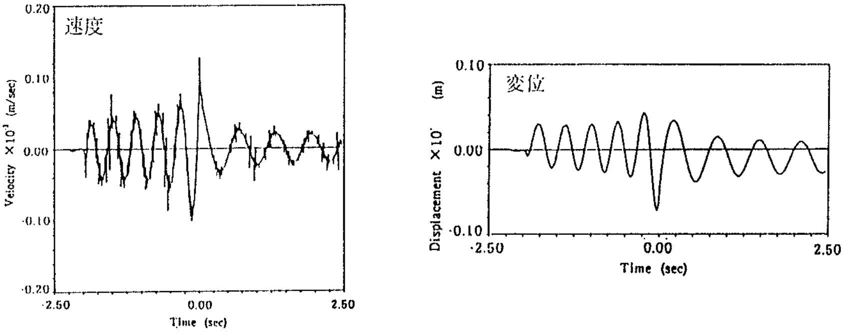


図３ 移動調和加振における鉛直応答
X=100m, V=40m/s, $\omega'$=2Hz

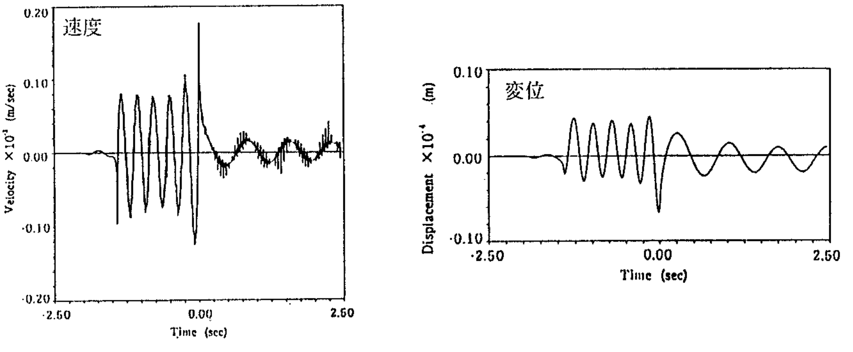


図４ 移動調和加振における鉛直応答
X=200m, V=80m/s, $\omega'$=2Hz

参考文献
1) Takemiya and Guan: Transient Lamb's Solution for Surface Strip Impulses, J.Eng.Mech.Vol.119 No.12, 1993
2) G.Eason: The Stresses Produced in a Semi-Infinite Solid by a Moving Surface Force, IntJ.Engng.Sci.Vol.2, pp.581-609, 1965
3) 福和伸夫, 梅村健次, 多賀直恒: 等速移動加振力に対する３次元均質等方弾性体の基本解に関する研究, 日本建築学会論文報告集、第441号、pp.45-52