

移動荷重を受ける半無限弾性体の応答性状解析

東京工業大学 学生会員 星 恵津子
東京工業大学 正会員 廣瀬 壮一
東京工業大学 学生会員 矢口 大三

1. はじめに

近年、新幹線やリニアモーターカーなどの高速列車の開発はめざましく、列車の高速化が急速に進んでいる。それに伴い、沿線付近の住民の鉄道振動に関する意識も非常に高まっており、環境振動問題に対する解決が求められている。鉄道振動の環境予測や振動低減を可能にするためには、移動荷重に対する地盤応答性状について考察することが必要である。そこで本研究では、3次元半無限弾性体に移動分布荷重を作用させ、半無限弾性体の応答性状に及ぼす影響について調べた。

2. 解析手法

自由表面 S において、速度 $\mathbf{v}$ で移動する鉛直方向の表面力 t_3 を受ける半無限弾性体 D を考える。(図-1) この時、3次元弾性体の動的支配方程式と、境界条件、初期条件は次のように与えられる。

$$\mu u_{i,jj}(\mathbf{x},t) + (\lambda + \mu) u_{j,ji}(\mathbf{x},t) = \rho \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2}(\mathbf{x},t) \quad \mathbf{x} \in D, t \in [0, \infty] \quad (1)$$

$$t_i(\mathbf{x},t) = \begin{cases} \delta_{i3} t_3(x_1 - vt, x_2) & \mathbf{x} \in S \\ 0 & \end{cases} \quad (2)$$

$$u_i(\mathbf{x},0) = \dot{u}_i(\mathbf{x},0) = 0 \quad \mathbf{x} \in D \quad (3)$$

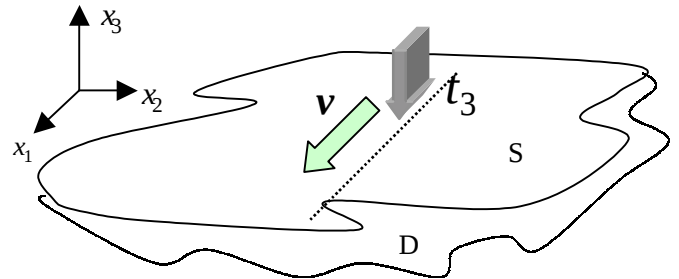


図-1 解析モデル

ここで、 ρ : 密度、 μ, λ : Lam の定数、 u_i : 変位、 t_i : 表面力を表す。(1)、(3)を積分方程式に変換すると、次の式が得られる。

$$c_{ik}(x_0)u_i(x_0,t) = \int_S U_{ik}(y,t;x_0) * t_i(y,t) dS_y - p.v. \int_S T_{ik}(y,t;x_0) * u_i(y,t) dS_y \quad x_0 \in S$$

ここで、 $U_{ik}(y,t;x_0), T_{ik}(y,t;x_0)$: 基本解、 $p.v.$: 主値積分、 c_{ik} : 自由項、 $*$: 時間に関する合成積である。この式を離散化して境界条件を用いて解くことにより半無限体表面上の変位 u_i が求まる。

3. 荷重の移動速度の影響

図-2 に示すように、半無限自由表面を 11×18 個の一边 a の正方形境界要素に分割して解析を行った。まず、荷重の移動速度の影響について調べるために、

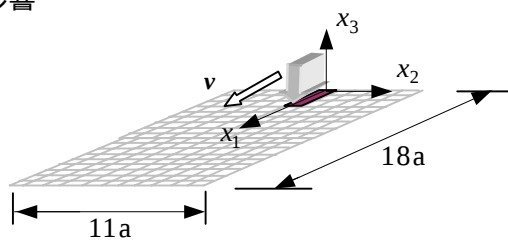


図-2 移動荷重モデル

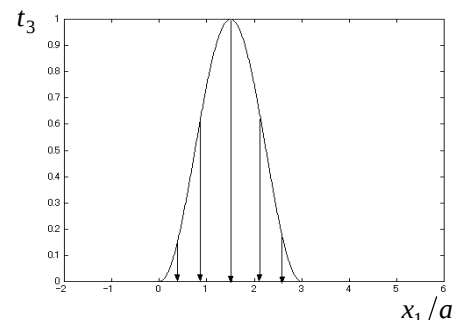


図-3 移動荷重の表面応力状態 (case)

$v = 55.0\text{m/s}$ と 150.0m/s の 2 種類の速度で荷重を移動させた場合について調べた。荷重分布は、荷重の移動方向 (x_1 方向) には図-3 に示すように $\sin^2 x$ の関数で与え、 x_2 方向には一要素の幅 a で一定とした。なおここで、 $a = 1.0\text{m}$ 、P 波速度 c_p と波速度 c_s はそれぞれ $280.62\text{m/s}, 150.0\text{m/s}$ とした。図-4 は異なる 2 つの荷重速度に対する各点 A ~ J (図-5) における鉛直方向変位の経時変化を示している。 $v = 55.0\text{m/s}$ の場合には、まず横波や表面波による変位が到達し、その後移動荷重に伴った大振幅の変位が追従している。一方、 $v = 150.0\text{m/s}$ の場合には、荷重の移動速度が横波速度と同

キーワード : 移動荷重、環境振動、3次元半無限弾性体、境界要素法

〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 TEL 03-5734-2692 FAX 03-5734-3578

じであり、横波の変位と移動荷重に伴う大変位が同時刻に到達して、荷重に近い点ほどパルス的な応答を示している。

4. 荷重パターンの違いによる影響

次に、荷重パターンの違いを調べるため、実際の列車荷重を想定して図-6 に示すような複数荷重を用いた。荷重間隔は $2.5a$ とし、荷重の移動速度は $v=55.0m/s$ とした。その他の条件は 3 節のものと同様である。図-3 のような荷重が移動する場合 (case) と図-6 のような複数荷重が移動する場合 (case) を比較するために、図-7 にそれぞれの自由表面上の各点 a ~ j (図-5) における鉛直方向変位の経時変化を示す。これより、case の複数荷重に対する応答は、荷重パターンの変化に応じた応答になっている。2 つの荷重による応答の重ね合わせによって、最初の荷重に対する応答振幅に比べて二番目の荷重に対する振幅の方が小さくなっていることに注目されたい。図-7 の点 a のそれぞれの波形をフーリエ変換した結果を図-8 に示す。case の場合、二つの荷重の応答波形の干渉によって、フーリエ振幅は山と谷を示すことが分かる。このように複数の移動荷重が存在する場合には、それぞれの荷重の応答波形の干渉によって周波数特性が変化する。なお、その周波数特性が荷重の移動速度、荷重間隔ならびに各荷重の大きさに依存することは言うまでもない。

5. 結論

3 次元半無限弾性体が自由表面に移動荷重を受ける際の応答を調べ、荷重の移動速度や荷重パターンの違いによる応答特性を明らかにした。荷重の移動速度が大きいほどパルス的な応答に近く、荷重作用点から離れるに従って応答は小さくなる。また、移動する荷重が複数あるとき、周波数特性にピークが現れることを確認した。

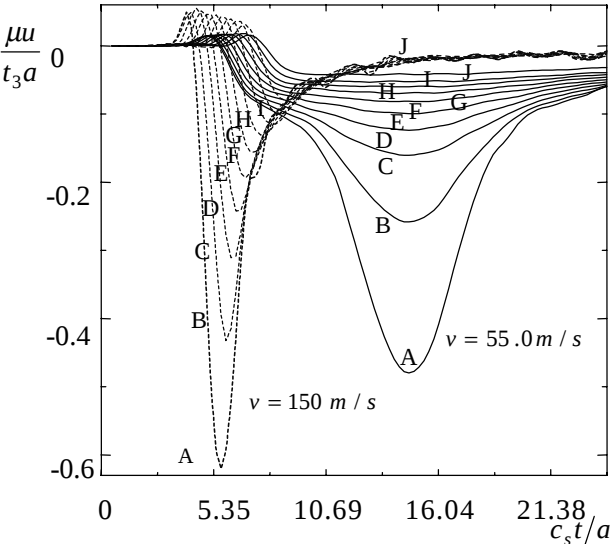


図-4 自由表面各点における鉛直方向応答

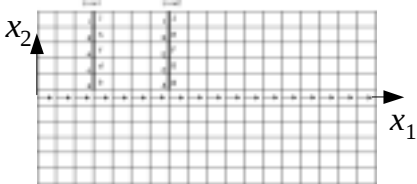


図-5 自由表面上の各点

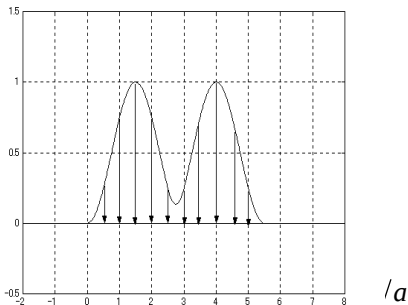


図-6 移動荷重の表面応力 (case)

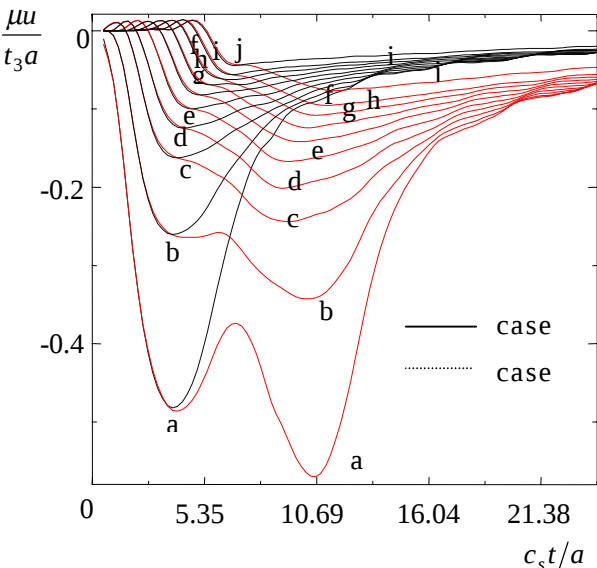


図-7 自由表面各点における鉛直方向応答

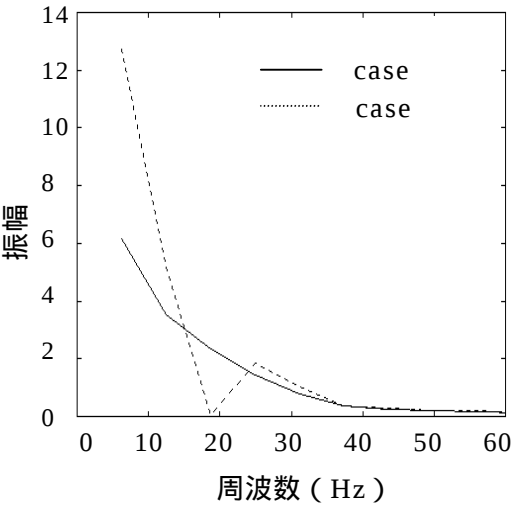


図-8 a 点における周波数比較