

III-160 道路交通における沿道の地盤振動に関する一考察

神戸大学 正北村泰彦 学 宮北浩至 学 森 誠一郎

1. まえがき 道路の状況と発生する地盤振動の関係については、主として、道路の不整を通過する自動車の接地荷重の変動によって地盤振動が発生すると考えられる。そこで、自動車の振動特性、路面の不整、地盤の振動特性等に適切なモデル化を行ない、走行車輛による振動の発生および伝達機構に関する検討を行なった。

2. 計算モデル まず、自動車が定常不規則な路面凹凸を一定速度で通過するときの接地荷重の変動を考へる。自動車の振動としては、種々の振動成分が考えられるが、本研究では図-1のような2自由度系を考へると、その運動方程式は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} M\ddot{x} + C(\dot{x} - \dot{x}_T) + K(x - x_T) &= 0 \\ M_T\ddot{x}_T + C_T(\dot{x}_T - \dot{x}_0) + C(\dot{x}_T - \dot{x}) + K_T(x_T - x_0) + K(x_T - x) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

(1) 式より路面に与える定常外力(接地荷重) $P(t)$ は

$$P(t) = -\{M\ddot{x}(t) + M_T\ddot{x}_T(t)\} \quad (2)$$

となる。いま、 $x_0 = e^{i\omega t}$, $x = H_x(i\omega)e^{i\omega t}$, $x_T = H_T(i\omega)e^{i\omega t}$, $P = H_p(i\omega)e^{i\omega t}$ かつて、(1) 式を解けば、(2) 式より路面変位と接地荷重の伝達関数 $H_p(i\omega)$ が求められる。そして、路面の凹凸のパワースペクトル密度を $S_r(\omega)$ とすれば、自動車の接地荷重のパワースペクトル密度 $S_p(\omega)$ は次式で表わされる。

$$S_p(\omega) = |H_p(i\omega)|^2 \cdot S_r(\omega) \quad (3)$$

ここで、一般の路面凹凸のパワースペクトル密度 $S_r(\Omega)$ は ISD 規格にも見られるように、 $S_r(\Omega) = a\Omega^{-n}$ の形で表わされる。¹⁾ なお、 Ω は路面周波数である。しかも、自動車の走行速度 V は一定として、路面周波数を時間に関する周波数に直すと、 $S_r(\omega)$ は次式として得られる。

$$S_r(\omega) = aV^{n-1}(\omega/2\pi)^{-n} \quad (4)$$

つまり、波動の伝播速度に比べて車両の走行速度は十分小さいので、自動車は静止振源として取り扱い、測定点に最接近した位置で振動が発生していると考ええる。この場合、半無限弾性体の表面で、上下方向に正弦波点加振したときの Lamb の解が利用できる。²⁾ しかし、その解は複雑であるため、加振点近傍の挙動は数値計算によって求める必要がある。田島見等は振源距離 r の地表面の上下変位 w を次のような形で与えている。³⁾

$$w = Pe^{i\omega t}(f_1 + if_2)/2\pi G \cdot r \quad (5)$$

したがって、点加振力と振源距離 r における上下方向の振動変位の伝達関数 $H_w(i\omega)$ は次式となる。

$$H_w(i\omega) = (i\omega)(f_1 + if_2)/2\pi G \cdot r \quad (6)$$

ラズガ点加振力のパワースペクトル密度 $S_p(\omega)$ と地表面の上下方向の振動変位のパワースペクトル密度 $S_w(\omega)$ の関係は次式となる。

$$S_w(\omega) = |H_w(i\omega)|^2 \cdot S_p(\omega) \quad (7)$$

結局、路面の凹凸と地盤振動の関係は (3), (7) 式より次式として得られる。

$$S_w(\omega) = |H_w(i\omega)|^2 \cdot |H_p(i\omega)|^2 \cdot S_r(\omega) \quad (8)$$

つまり、実際の地盤振動では順系列によって考察しやすくなる。そこで、(8) 式を $S_w(\omega)$ かつて、次式によって順系列 $w(t)$ をシミュレートする。

$$w(t) = \sum_{n=1}^N A_n \cdot \sin(\omega_n t - \phi_n) \quad (9)$$

ここで、 $A_n = \{2 \cdot S_w(\omega) \cdot \Delta\omega\}^{1/2}$, $\omega_n = (n - \frac{1}{2}) \cdot \Delta\omega$, $\phi_n: 0 \sim 2\pi$ に一様分布のラズガ変数

3. 数値計算例 表-1 に示すような車輛諸元を用いて、トラック、乗用車2車種について計算した。計算

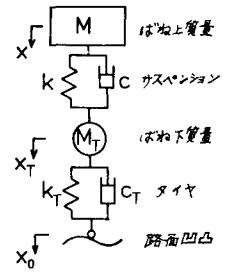


図-1 車輛モデル

結果は計算過程に従って、路

面凹凸のパワースペクトル、
接地荷重の伝達関数、接地荷
重のパワースペクトル、地盤
の上下方向の振動速度の伝達

関数、上下方向振動速度のパワースペクトル、上下方向振動速度の時系列の値を図-2
〜7に示す。なお、この場合の路面状況は図-2の「普通」と「悪」の境の直線を使用し、

図-7は2.5秒間（車速60km/hで約40m走行）の時系列の一部を1例に示して
おけるものであるが、(9)式の乱数を変えて、数ケースの時系列を求め、それぞれの最
大値の平均を求めると、トラック 2.1 mm/s、乗用車 0.5 mm/s（振源距離10m
の時）である。その振動速度の比をみると（トラック）/（乗用車）=4.2 となる。こ

れはトラックと
乗用車の1車輪
当りの重量比が
8.0であるのこ
らべて小さい値
となっている。
また、このよう
な傾向は車種別
の実測データ⁽⁴⁾

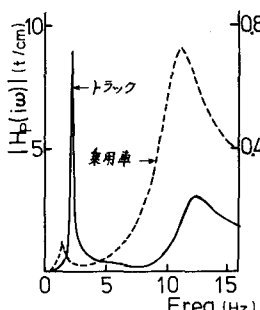


図-3 接地荷重の伝達関数

においても
見られる。
すなわち、
自動車と路
面の凹凸と
の相互作用
による動的
効果の一端
を説明して
いるものと
考えられる。

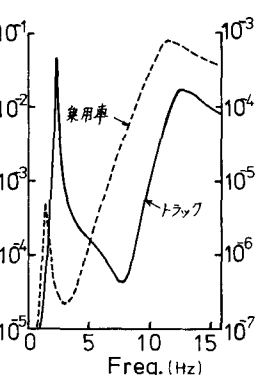


図-6 振動速度のパワースペクトル

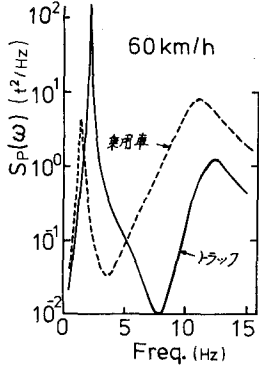


図-4 接地荷重のパワースペクトル

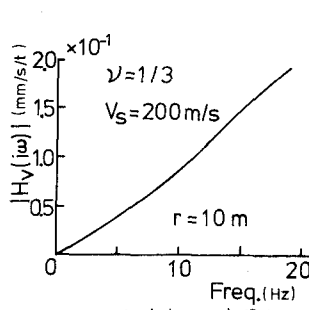


図-5 地盤振動速度の伝達関数
(註) 図-3, 4, 6の縦軸は
左: トラック, 右: 乗用車 である。

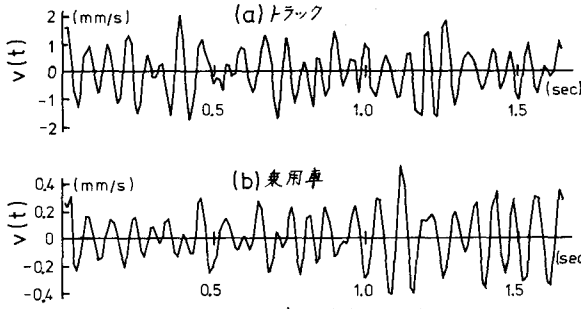


図-7 地盤振動速度の時系列（一部）

さらに、(8)式において、車速の影響は $S_r(\omega)$ に、積載重量、車種の影響は $H_p(\omega)$ に、地盤の振動伝達特性の影響は $H_v(\omega)$ に含まれることになる。

4. あとがき 以上、代表的な路面凹凸のスペクトル密度を利用し、地盤の振動伝達特性を単無服弾性体として求めたが、実際の地盤振動の状況正大であることが説明できると考えられる。また、今後この方面の実測資料の集積が望まれるところである。一方、従来等のように路面凹凸が不連続である場合は、取り扱いが複雑となり重要な問題であり、現在検討を進めているので後日報告したい。

参考文献 1) 摘要: 自動車技術, Vol. 28, No. 4, 1974, 2) Lamb: Phil. Trans. Roy. Soc. London, Series A, 203, 1904, 3) 野嶋, 田沼見, 市川: 竹中技術研究報告, 第9号, 1972, 4) 例之四, 畑中: 建設工学研究所報告, No. 10, 1967