

神戸大学 正 北村泰寿 学 O 森 誠一郎

1. まえがき 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、沿道地盤に振動が発生すると考えられる。そこで、本研究は、路面の凹凸特性、自動車の振動特性、地盤の振動伝達特性を適当なモデル化を分ち、走行車両による沿道の地盤振動をシミュレーションの結果について述べるものである。なお、前報¹⁾では自動車の後輪を一輪モデルに置き換えてシミュレーションを行なったが、今回は左右両輪が通過する路面の凹凸特性間の相関についても考慮した。

2. 計算手法の概要 前報では、位相に関する情報が不要となるためのパワースパクトル密度で式を整理を行なったが、今回は位相に関する情報が必要となるためフーリエスペクトルで式を整理を行なっている。したがって、考え方の流れは前報と同じ内容となっているため、内容において重複する部分は省略して述べる。

両輪が通過する路面凹凸の相関についてはISOにおいて検討されており、この相関を考慮した路面凹凸のシミュレーション手法はDodds等によって提案されている。これは結果の4次元として記述されようである。

$$X_L(\omega) = \sqrt{T/2} [S(\omega)]^{1/2} e^{-i\alpha_1(\omega)} \quad (1)$$

$$X_R(\omega) = \sqrt{T/2} \{ [\gamma(\omega)^2 \cdot S(\omega)]^{1/2} e^{-i\alpha_1(\omega)} + [(1-\gamma(\omega)^2) \cdot S(\omega)]^{1/2} e^{-i\alpha_2(\omega)} \} \quad (2)$$

ここで、 $X(\omega)$: 路面凹凸のフーリエスペクトルで、添字L, Rは左車輪と右車輪の意味、 $S(\omega)$: 路面凹凸のパワースパクトル密度、 $\gamma(\omega)$: 両輪が通過する路面凹凸特性間の相関を表すコヒーレンス関数、 T : 時系列として発生させず時間、 $\alpha_1(\omega)$, $\alpha_2(\omega)$: $-\pi$ から π の範囲に一様分布するランダム変数

つまり、自動車の振動モデルを鉛直振動のみを行なう2自由度の質点系モデルに置き換えると、接地荷重のフーリエスペクトルは次式の形となる。なお、自動車の振動としては、ローリング振動成分も考えなければならぬが、自動車に関する諸元の入力が困難であることも考慮して、左右両輪は独立した振動系として取り扱う。

$$Q(\omega) = H_p(\omega) \cdot X(\omega) = |H_p(\omega)| \cdot e^{-i\phi_p(\omega)} \cdot X(\omega) \quad (3)$$

ここで、 $Q(\omega)$: 接地荷重のフーリエスペクトル、 $H_p(\omega)$: 自動車の振動モデルから得られる接地荷重の周波数応答関数、 $X(\omega)$: 路面凹凸のフーリエスペクトル

式(3)の $X(\omega)$ の代わりに式(1), (2)の $X_L(\omega)$, $X_R(\omega)$ を代入すると、左右両輪の接地荷重のフーリエスペクトルが求まる。つまり、前報と同様に、車座は振動の伝播速度に比べて十分小さいので、自動車は固定した位置で走行中の不規則な振動を地盤に及ぼしていると考ええる。この場合、地盤振動の周波数応答関数は理論解を利用して求められる。したがって、地盤の振動速度のフーリエスペクトルは次式の形で得られる。

$$V(\omega) = H_v(\omega) \cdot Q(\omega) = |H_v(\omega)| \cdot e^{-i\phi_v(\omega)} \cdot Q(\omega) \quad (4)$$

ここで、 $V(\omega)$: 地盤振動速度のフーリエスペクトル、 $H_v(\omega)$: 地盤振動速度の周波数応答関数

結局、式(4)に式(1)~(3)を代入すると、左右両輪から伝わる沿道の任意地点における振動速度のフーリエスペクトルが得られることになる。そして、式(4)のフーリエスペクトルについて、FFTを利用して変換を分ち、左右両輪から発生する地盤振動速度の時系列を求めた。さらに、左右両輪から発生する地盤振動の時系列を合成して、合成した時系列の最大値を求めると、この値が所求の地盤振動速度の値となる。

3. 計算結果と考察 路面凹凸のパワースパクトル密度、自動車の諸元、地盤振動速度の周波数応答関数については、前報に図表を掲載してある。したがって、ここでは数値の都合もあり、再度図示することは省略し、演算に示すこととする。なお、計算条件については簡単に説明すると次のようになる。

路面: ISOの規格案を利用し、コヒーレンス関数についてはDodds等が近似化されたものを使用する。また、路面周波数は $\Omega \leq 2 \text{ C/m}$ (車速 50 km/h で $f \leq 27.8 \text{ Hz}$)の範囲と設定する。

自動車：8トントラックと乗用車の2車種を考へ、トラックについては積載の有無も考慮する。

地盤：地盤の物理定数については、ヤング係数 2500 kg/cm^2 、ポアソン比 $1/3$ 、単位体積重量 2.2 t/m^3 とし、アスファルト舗装と通常の地盤の中間値を想定しR-1側のみとする。

まず、積荷状態のトラックが 50 km/h で走行する場合、路面凹凸の程度が「普通」と「悪」の間および両輪の路面凹凸の相関を考慮した場合の地盤振動速度の距離減衰を図-1に示す。同じ路面凹凸のパワースペクトル密度をもつ道路を走行させた場合でも、このようなパターを再現することは想定の通りである程度の幅で持たせなければならぬことを示唆している。また、同図には、島山等が大阪市内の沿道で測定した10数例のデータに基づき提案している半実験式²⁾を示す。なお、島山等の提案する式は次のようなものである。

$$v = C V_R^{-5/2} \rho^{3/2} \sqrt{1/r} \quad (5)$$

ここで、 v ：地盤振動速度 (mm/s)、 V_R ：L-L波の伝播速度 (m/s)、 ρ ：地盤に惹き起される円振動数 (rad/s)、 r ：道路から測点までの距離 (m)

式(5)の C 、 ρ について、島山等は $C = 860 \sim 900$ 、 $T = 0.05 \sim 0.09 \text{ sec}$ ($\rho = 2\pi/T$) 程度であると述べている。実際の路面状態が不明のRの直接の比較はできず、本研究のシミュレーションはほぼ満足いくものであろうと考えられる。

つぎに、地盤振動に対する地盤の物理定数以外の影響要因として、積荷の有無、路面凹凸の程度、車速、車種を取り上げて比較したものが図-2である。同図の

Case 1は図-1と同じで、ここでの比較の基準とする。まず、Case 2は両輪が通過する路面凹凸の相関を無視した場合であり、Case 1と比較して、この相関の影響は少ない。Case 3は空荷に対する結果であり、Case 1と比較して積載重量の影響は地盤振動にほとんど現れない。Case 4は路面の凹凸の程度が「極良」と「良」の間を採用した場合の結果であり、路面状態が良くなり地盤振動は大幅に小さくなる。Case 5, 6は車速の影響を見ただけで、車速の制限は路面凹凸の改良はと並行して、地盤振動の軽減に効果があることを示している。Case 7は乗用車に対して計算を行ったもので、トラックによつて発生する地盤振動より相対的に小さくなっていることがわかる。

4. あとで 本研究の手法はあくまで検討すべき点も含むが、走行車両による沿道の振動を予測するための有効な方法の一つであるという筆者等は考えており、今後は実験も行ない本手法の有効性を確かめたい。

参考文献：1) 北村、宮地、森：土木学会第31周年講、Ⅲ-160、2) Styles, D.P. & Dodds, C.J.: Experimental Mechanics, 1976. 11、3) 島山、早川：土木学会関西支部講習会テキスト、1976. 9

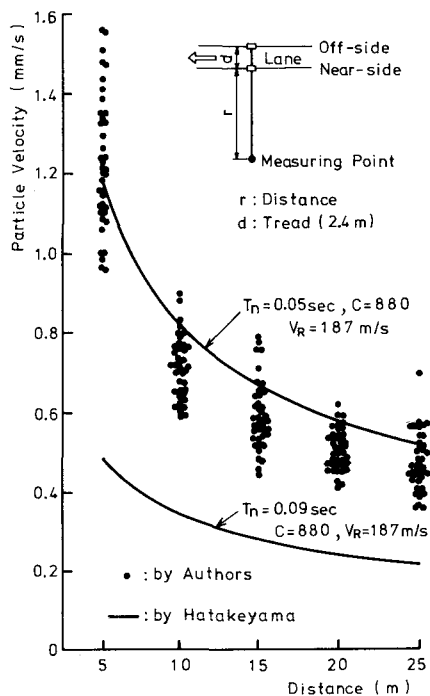


図-1 地盤振動速度の距離減衰

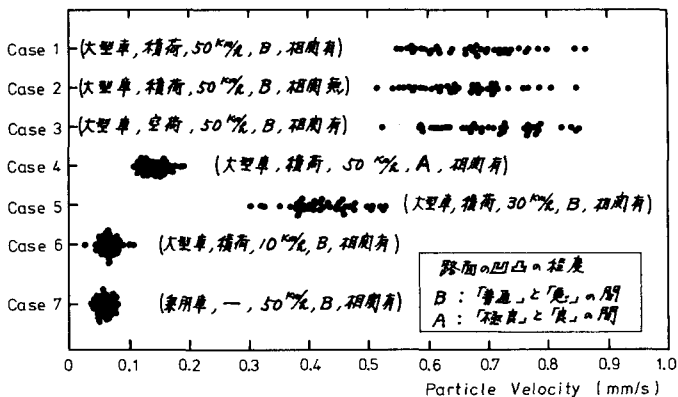


図-2 10m地点における地盤振動速度の比較