

道路交通による沿道の地盤振動のシミュレーション

SIMULATION OF GROUND VIBRATION DUE TO ROAD TRAFFIC

北村 泰 寿*

By Yasutoshi KITAMURA

1. まえがき

新しい道路を建設する場合、供用開始後の交通振動の予測が計画段階で必要とされることがある。この場合、類似した場所で測定し、路面状況、交通量状況などの補正を行って推定する方法、多くの実測例を整理して実験式を作り、これによって推定する方法などが考えられる。本研究においては、この予測という問題の一手法として、交通騒音などにおいても利用されているモンテカルロ法¹⁾を用いて、計算機内でのモデルシミュレーションを行った。この場合、モデル化はできるだけ簡単なものがよいという理由のため、次に述べるような簡単化を行った。

交通流は、ある一定の条件を満足している場合、近似的にポアソン分布に従うことが知られている。このポアソン分布が成立するような交通流を想定し、乱数を利用して車両を不規則に配列させ、また地盤振動については、Lambの漸近式と距離による減衰項を組み合わせた式によって取り扱えたと仮定した。さらに、計算機内でモデルシミュレーションした地盤振動が実測値とどの程度合致するかを調べるために、交通流ができるだけポアソン分布に従うような場所を3箇所選び実測を行った。なお、得られた交通振動の評価については、振動速度^{注1)}で整理し、交通騒音に準拠した方法によった。

2. シミュレーションの概要

(1) 車頭間隔

交差点、分岐路、あるいは交通信号その他の障害物のない道路で交通量が比較的少ない場合、個々の車両はかなり自由な走行が確保される。この場合、車頭時間間隔

の確率密度関数 $p(t)$ は、次のような指数分布形がかなりよくあてはまる³⁾。

$$p(t) = \frac{1}{\bar{t} - t_0} \exp\left(-\frac{t-t_0}{\bar{t}-t_0}\right) \quad (t \geq t_0) \dots \dots (1)$$

ここに、 \bar{t} : 平均車頭時間、 t_0 : 限界車頭時間
いま、車両の走行速度を一定とすると、車頭距離間隔の確率密度関数 $p(s)$ は式(1)より次のように表わされる。

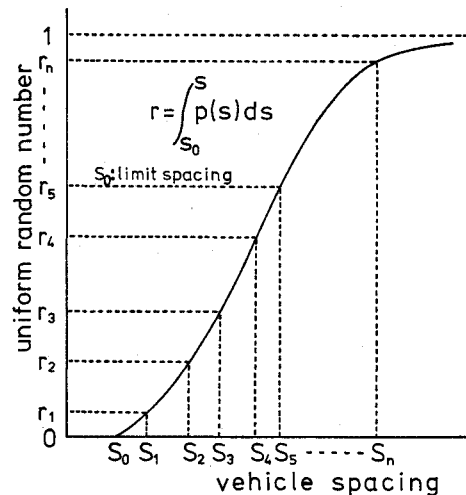


図-1 交通流のシミュレーション

注1.) 本研究では、実測データおよび計算値の整理を振動速度で行っている。この点、振動規制法(51.12.1 施行)では補正加速度レベルが用いられている。したがって、補正加速度レベルへの換算が必要であるが、この換算は簡単である。いま、交通振動として、8 Hz以上の周波数範囲を考えると、振動規制法の定義に従って、換算式は

$$\begin{aligned} \text{補正加速度レベル} &= 20 \log\left(\frac{A}{A_0}\right) = 20 \log\left(\frac{2\pi f V \times 10^{-3} \sqrt{2}}{0.125 \times 10^{-3} f}\right) \\ &= 20 \log\left(\frac{V}{2.81 \times 10^{-4}}\right) = 20 \log\left(\frac{V}{V_0}\right) \end{aligned}$$

A, A_0 : m/s^2 (r.m.s.) V, V_0 : mm/s

となり、振動速度比の形で得られる。一方、実測データについても、一応、換算は可能である²⁾。

* 正会員 工修 神戸大学助手 工学部土木工学教室

$$p(s) = \frac{1}{\bar{s} - s_0} \exp\left(-\frac{s - s_0}{\bar{s} - s_0}\right) \quad (s \geq s_0) \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 \bar{s} ：平均車頭距離， s_0 ：限界車頭距離

次に、式(2)の確率密度関数に従うような数多くの車頭間隔 s の標本を求める必要がある。いま、式(2)より車頭間隔 s の確率分布関数を求めると

$$r = \int_{s_0}^s p(s) ds = 1 - \exp\left(-\frac{s - s_0}{\bar{s} - s_0}\right) \dots\dots\dots (3)$$

となり、この関係を図示すると図-1のようになる。同図で、 r に(0, 1)の一樣乱数を与えると、それに対応して、式(3)の関係を満足する車頭間隔 s が求まることになる。すなわち、式(2)のように指数分布する母集団から抽出された標本が得られる。

(2) 地盤振動の距離減衰式

実地盤における振動の距離減衰は、種々の要因により、複雑な様相を呈することが多い。しかし、本研究では簡略化した式を用いる必要上、Lambの三次元理論解における漸近式を利用する。すなわち、半無限弾性体の表面で上下方向に正弦波点加振 ($Re^{i\omega t}$) したときの解で、振源距離が大きい所での主要項⁹⁾を利用する。

Lambの解の主要項は変位で与えられているので、微分して振動速度の式に直すと、上下方向の振動速度 V は次式によって得られる。

$$V = \frac{K}{\sqrt{2\pi}} \cdot \left(\frac{R}{G}\right) \cdot \omega^{3/2} \cdot V_R^{-1/2} \sqrt{\frac{1}{X}} \cdot \sin\left(\omega t - \frac{\omega}{V_R} X - \frac{\pi}{4}\right) \dots\dots\dots (4)$$

ここに、

$$K = -\frac{(V_R/V_S)^2(1+h^2)^2}{16h\{2+2h^2-2hk-(h^2+k^2)/hk\}}$$

$$h = \sqrt{1 - (V_R/V_S)^2}, \quad k = \sqrt{1 - (V_R/V_P)^2}$$

R ：加振力振幅， ω ：加振力の円振動数， V_P, V_S, V_R ：縦波，横波，レーレ波の伝播速度， G ：せん断弾性係数， X ：振源距離

式(4)において、 K はポアソン比のみによって決まる定数で、たとえば $\nu=1/4$ で $K=0.18349$ ， $\nu=1/3$ で $K=0.15558$ である。したがって、諸定数を代入すれば式(4)は結局次式のように簡略化される。

$$V = C \frac{1}{\sqrt{X}} \sin(\omega t + \varphi) \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 C ：媒質の諸定数と振源に関する定数， φ ：加振力に対する地盤振動の位相の遅れ

なお、式(5)は表面波の距離減衰を与える式である。一方、実測資料⁹⁾においても、道路端から離れると地表面粒子の運動はレーレ型の運動を示す。

しかし、式(5)によって示される解は振源距離が大きい所での解で、加振点近傍での挙動を求めることはでき

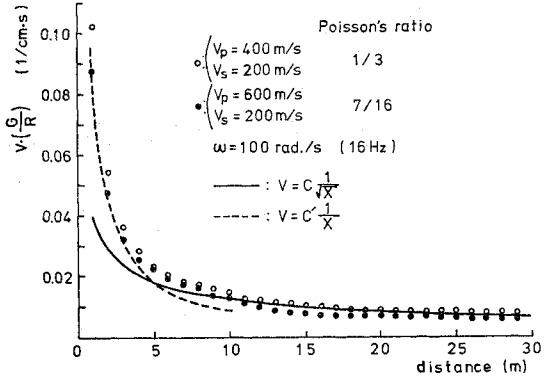


図-2 上下点加振による地表面の距離減衰

ない。加振点近傍の表面の波動伝播状況を理論的に取り扱ったものに田治見らの研究⁹⁾がある。この解を利用して式(5)の形が適用できる範囲を見ると図-2のようになる⁷⁾。同図より、10m以上になると、ほぼ表面波の減衰曲線と同じ減衰を示す傾向がある。一方、加振点近傍5m以内では実体波の減衰を示している。したがって、加振点のごく近傍を考える場合は式(5)の適用はできなくなる。しかし、本研究では加振点より少なくとも5m以上の距離を考えており、式(5)の形をもって地盤振動の距離減衰式としてもよいと考えられる。

次に、地盤を伝播する波動は地盤を構成する土粒子の摩擦抵抗などによって減衰すると考えられるが、この点については、従来考えられている指数減衰の形⁹⁾をとるものとして次のように考える。

$$V = C \frac{1}{\sqrt{X}} \sin(\omega t + \varphi) \exp(-\alpha X) \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 α ：地盤による減衰係数

α については波動周期の2乗ないし1乗に逆比例すると言われている。一方、小林は地盤がVoigt型粘弾性体であると仮定すれば、 α は次式で表わされるとしている⁹⁾。

$$\alpha = \frac{2\pi\mu}{\rho V_S^3 T^2} \dots\dots\dots (7)$$

ここに、 μ ：粘性係数， ρ ：密度， T ：振動周期

そして、いくつかの実測データから、 ρ, T の影響を除いて μ/V_S^3 を求めている。この値はほぼ一定の値をとり、平均的な地表付近の地盤の粘性は地域によって大差はないと述べている。

(3) モデル化

いま、車両の速度が50 km/hとすれば約14 m/sであるのに対し、表面波の伝播速度は100~300 m/s程度である。したがって、車両の走行速度と波動の伝播速度を比較すると、波動の伝播速度が速いため、観測者から見た場合走行中の車両を点振源と考えることができる。

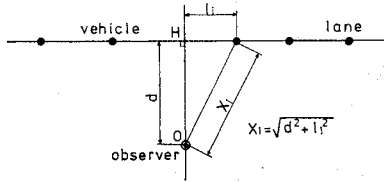


図-3 交通流モデル

そして、地表面その他の障害物による反射，吸収，屈折等を見逃し，測定地点での振動速度を各振源からの波の重ね合わせであると考え，図-3のように車両が配列される時，測定地点での振動速度は式(6)を用い，次式のように与えられる。

$$V(t) = \sum_{i=1}^n C_i \frac{1}{\sqrt{X_i}} \sin(\omega t + \varphi_i) \exp(-\alpha X_i) \dots\dots\dots (8)$$

ここに， $X_i = \sqrt{d^2 + l_i^2}$ ， d ：車線と測定地点との距離， l_i ：測定地点から車線に下した垂線（以下測線と略）と車線の交点から i 番目の車両までの距離

なお，道路端のように測定地点が道路にきわめて近い場合は，図-2 からわかるように，測定地点に近い車両に対しては実体波の項も考慮しなければならなくなる。しかし，車両の配列状態から考えると，ほとんどの車両は 5 m 以上の距離にあり，式(6)ですべてを表現してもそれほど差異は生じないと考えられる。

次に，式(8)における位相 φ_i の決定，実交通流における車種混合の取り扱い，計算値の整理方法など，本研究ではどのようにモデル化したか簡単に説明しておく。

a) 位相 φ_i の決定

各振源としての車両の接地荷重 $Re^{i\omega t}$ には位相差がなく振動が発生していると仮定する。そして，測定地点では，各振源からの伝播距離の差によって生じる位相のみを考慮に入れることにした。図-4 にその概要を示し，位相 φ_i は次式で表わされるものとする。

$$\varphi_i = 2\pi \cdot \left(\frac{4X_i}{L_R} \right) \dots\dots\dots (9)$$

ここに， L_R ：表面波の波長， $4X_i$ ：伝播距離を波長で除した余りの距離

b) 車種混合の取り扱い方法

車種を大型車（大型・中型トラック，バス等）と小型

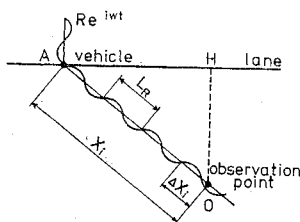


図-4 位相の仮定

車（乗用車，ライトバン，軽四輪車等）の2種に大別し，式(8)における係数 C_i を大型車と小型車について決める。次に，大型車，小型車の到着を独立と仮定し，乱数を利用して不規則に配列する。すなわち，車両の配列を決めるために乱数を発生させると同時に，(0, 1) の一様乱数を別に発生させる。そして，大型車の混入率が λ のとき，一様乱数 r が $0 < r \leq \lambda$ ならば大型車， $\lambda < r \leq 1$ ならば小型車が到着したと考える。

c) 係数 C の決定法

係数 C は加振力の大きさ（自動車の接地荷重）および地盤の諸定数によって決定されるものである。しかし，現段階では，交通振動としての加振力ならびに地盤の振動特性は十分解明されておらず，今後解明していかなければならない問題である。そこで，本研究では，係数 C が必要な場合，実測値をもとに求めるという方法をとった。いま，一車両についての実測値より，その振動速度 V の最大値および車道から測定地点までの距離 d が得られると，地盤の減衰係数 α を仮定して次式より係数 C が決定できる。

$$C = V_{\max} \cdot \sqrt{d} \exp(\alpha d) \dots\dots\dots (10)$$

d) 地盤の減衰係数 α の決定

過去の実測資料を整理した結果を頻度分布の形で図-5 に示す。同図には走行車両によるデータ（車道からの距離 25 m），および振動の程度が交通振動に近い，杭打ちによるデータ¹⁰⁾（振源距離 30~70 m）を示しており， α は多点の同時測定データについて，式(6)を

$$\log_e V \sqrt{X} = \log_e C - \alpha X \dots\dots\dots (11)$$

の形に変形し，回帰分析して求めたものである。走行車両によるデータは大型車1台の通過時のものであるが，他の車両などの影響も含まれるため，測定データ自体のばらつきが大きくなり， α の値は同図にみられるようにばらつく。また，同図の杭打ちによるデータについて，振動周期，表面波の伝播速度などとの関係を調べたが，明確な関係は見い出せなかった。したがって，これらの

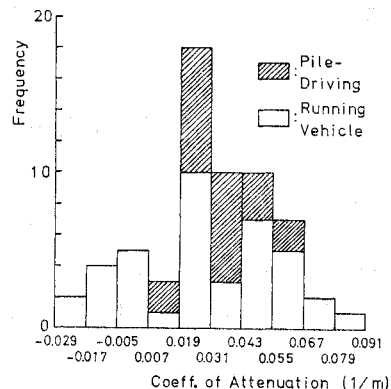


図-5 地盤の減衰係数の度数分布

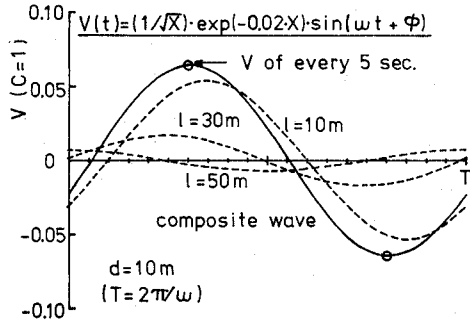


図-6 5秒間隔振動値の求め方

点を考慮して、 α の値としては 0.02~0.06 程度を考えておく必要がある。

e) 計算値の整理方法

得られた振動速度値の評価は、5秒間隔振動値の累積度数における 90% レンジ上限値 (以下 L_5 と略) および中央値 (以下 L_{50} と略) で行う。なお、5秒間隔振動値の求め方として、本研究では次のように取り扱っている。5秒間隔のある時刻における車両の配列が図-3のように得られるとき、式(8)を用いて、図-6のように一周期分の波形の合成を行う。そして、同図の合成波形のピーク値を5秒間隔の振動値とする。これは、実測データをメータ指示等で読み取る場合、目の追従性のため、測定値の多くが計算のピーク値に近い形で読み取られているということに対応している。したがって、レベルレコーダなどの計器で読み取る瞬時値に対しては大きく見積っていることになる。

また、 L_5 および L_{50} は累積度数曲線を描いて求める代わりに、総データ個数の内、5% および 50% の個数が越えるレベルとする簡易計算法¹¹⁾ によった。

f) その他

交通流は同じ速度で流れるとし、観測区間として有限の距離を考え、その区間の流れのみを対象とした。

3. 計算結果とその検討

(1) シミュレーションの条件

シミュレーションを行う上での諸条件を列举し、簡単に説明すると次のようである。

① 観測区間長 $l=200$ m

過去の実測経験より、道路端から 100 m 程度離れると振動の影響は無視できる。したがって、測線と車道の交点 (図-3 参照) を中心として影響範囲を両側にそれぞれ 100 m とする。

- ② 車両の走行速度 50 km/h
- ③ 限界車頭距離間隔 $s_0=10$ m

限界車頭時間間隔は車種や道路条件によって異なるけれど、おおむね 0.7~0.8 秒であると言われている。いま、車速が 50 km/h 程度であれば、車頭間隔として 10 m 程度まで近づけることになる。

- ④ 表面波の伝播速度 $V_R=200$ m/s
- ⑤ 加振力の円振動数 $\omega=80$ rad/s(12.7 Hz)

沿道の地盤に発生する振動数は、上下方向の振動速度で整理した場合、10~20 Hz 程度が卓越する。そこで、車両のばね下固有振動数程度を考える。

⑥ 地盤の減衰係数 $\alpha=0.02$

現段階では、 α の値と地盤の性質の関係を求めることは難しい。このため、図-5 から頻度が最も高い値を採用して、 $\alpha=0.02$ とする。

⑦ 係数 C 大型車 $C=1$ 、小型車 $C=0.4$

車種別の振動速度値として、既往の実測データ¹²⁾から大型車と小型車の2種に大別すると、その振動速度値の比は大型車:小型車=1:0.4 程度となる。なお、大型車に対する係数 C については、定性的傾向を見るために、本節では $C=1$ とする。

⑧ 計算値の個数 250 個 (約 21 分間)

既往の実測データによる検討結果¹³⁾を参照すると、振動速度で整理する場合、250 個程度の測定値個数が必要である。

(2) 乱数、振源の位相、距離減衰^{注2.)}の検討

本研究で用いた一様乱数は、計算機内で発生させた算術乱数で、擬似乱数と呼ばれるものである。一応、乱数の一様性は検定されているが、実際にシミュレーションに利用する場合、乱数をいくつか変えて計算結果の検討を行っておくことが望ましい。図-7 に、一車線、交通

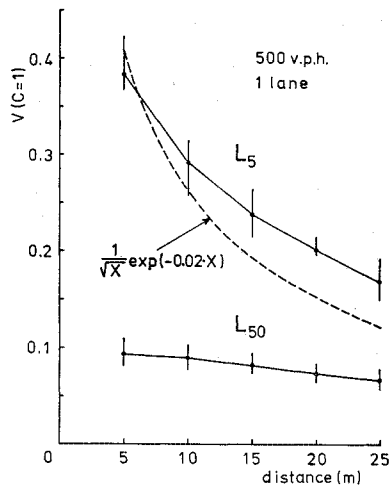


図-7 乱数の検討

注 2.) 通常は振源からの距離に対する減衰であるが、道路交通振動においては、車道からの距離に対する減衰の意味で使用する。

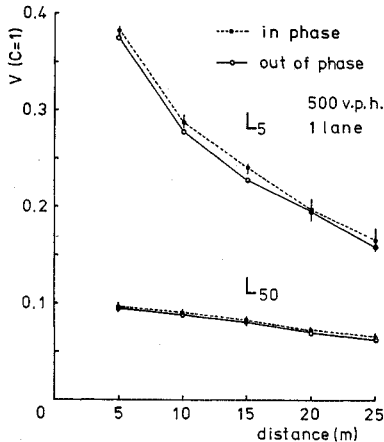


図-8 振源における位相差の影響

量 500 台/時、車種混合なし ($C=1$) の場合について、乱数を変えて 10 ケースのシミュレーションを行った結果を示す。同図において、平均値からのばらつきは 20% 以内に入っている。ここで、乱数を変えることは車両の配列を変えることにあたり、このため計算値の個数を 250 個としても、 L_5 、 L_{50} は当然変動する。したがって、図-7 の結果には、純粋に乱数の違いによるばらつきだけではなく、測定法自体の問題も含まれることになる。

次に、前節のモデル化で、各振源からの振動の発生は位相差がないと仮定した。しかし、実際は各振源がランダムに振動を発生していると考えの方が妥当と思われる。この場合、各振源に乱数を利用して、位相を持たせばよいわけであるが、計算量が多くなるため、本研究では、各振源は同位相で振動を発生すると考える。このため、各振源の位相について、一応の検討を行っておく。図-8 は、一車線、交通量 500 台/時、車種混合なし ($C=1$) で、車両の配列が同じ場合について、各振源の位相のみを変えた場合と各振源が同位相の場合を比較したものである。同図から、両者の間にほとんど差異がなく、また各振源の位相を変えてもばらつきは小さい。したがって、以下の計算において、各振源が同位相で振動を発生しているとして、伝播距離の差による位相のみを考慮すればよいと考える。

一方、距離減衰状況については、図-7 あるいは図-8 より L_5 は急激に減衰しているが、 L_{50} はほとんど減衰していない。また、 L_5 は 250 個の計算値の変動幅の上限値を示したものであるが、車道からの距離が小さいほど振動速度値のばらつきが大きくなる。さらに、図-7 には、一車両による振動の距離減衰に相当するものとして、式 (6) の最大値 ($C=1$) を破線で示す。これらのことから、5 m 地点では測線に近い車両の影響を大きく受けるが、25 m 地点のように、車道から離れると数台

の車両による振動速度の合成の効果が出てくると言える。

(3) 車線数、交通量、車種混合の検討

計算機でモデルシミュレーションを行う場合、一車線モデルで行う方が簡単でよい。しかし、通常の道路は二車線（一方向一車線）であるため、シミュレーションにおいても、その違いを検討しておく必要がある。いま、車種混合なし ($C=1$) で、交通量が 300 台/時および 800 台/時の場合について、二車線モデルと一車線モデルの比較を図-9 に示す。なお、二車線モデルの交通量は片側車線の交通量の意味で、反対側車線にも同量の交通量があるとして取り扱っている。また、車道からの距離は片側車線からとっており、反対側車線については、車線幅（一応 3.2 m とする）を加えている。同図から、 L_5 については、二車線の場合の振動速度値が一車線の場合のそれより 10~30% 大きくなっているが、交通量による差異はない。一方、 L_{50} については、交通量が 300 台/時の場合、二車線の方が一車線の場合の 2 倍前後になっており、交通量の影響を受けることがわかる。これらの結果から、 L_5 は測線に近い車両によって影響を受けるので、 L_{50} の比は交通量の影響を受けにくいと言える。これに対して、交通量が少ない場合、250 個の測定回数において、観測区間に車両がないという極端なケースが多くなるため、累積度数における中央値を下げるという効果が出てくる。以上のことから、交通量が極端に少ない場合を除けば、一車線モデルでシミュレーションを行っても二車線モデルの傾向を十分説明できると言える。

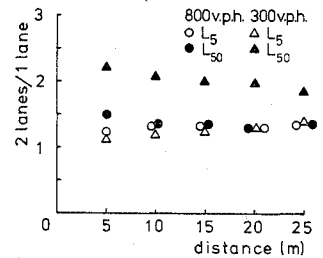


図-9 車線数の比較

次に、一車線、車種混合なし ($C=1$) の場合で、交通量の影響を調べると図-10 のように得られる。同図(a) から、各測定地点の L_5 は交通量の増加とともに一様に増加している。また、25 m 地点の振動速度値の 5 m 地点のそれに対する比は 0.40~0.46 となっており、交通量が変わっても距離減衰はほとんど変らない。一方、同図(b) の L_{50} については、交通量が少ない場合、距離による減衰は見られないが、交通量が多くなると距離による減衰が見られるようになる。つまり、交通量が少ない場合、車両が測線に近い位置に配列されるケースが少なくなり、各測定地点への車両の配列の影響が平均化されてくる。すなわち、同一車両から各測定地点への斜距離に顕著な差が出る車両配列のケースが少なくなるためと

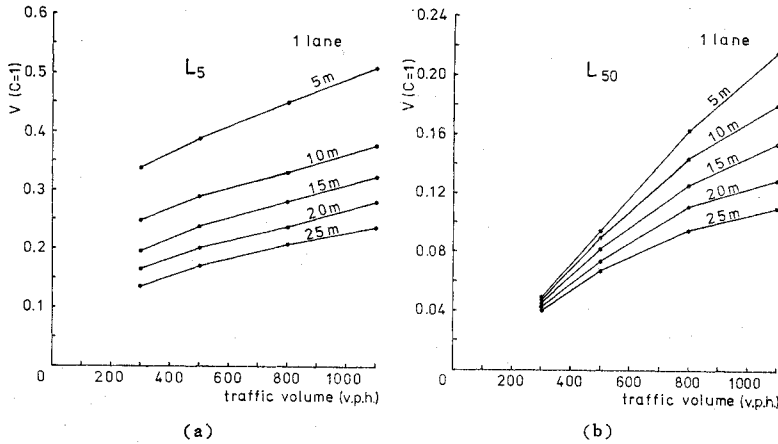


図-10 交通量の影響

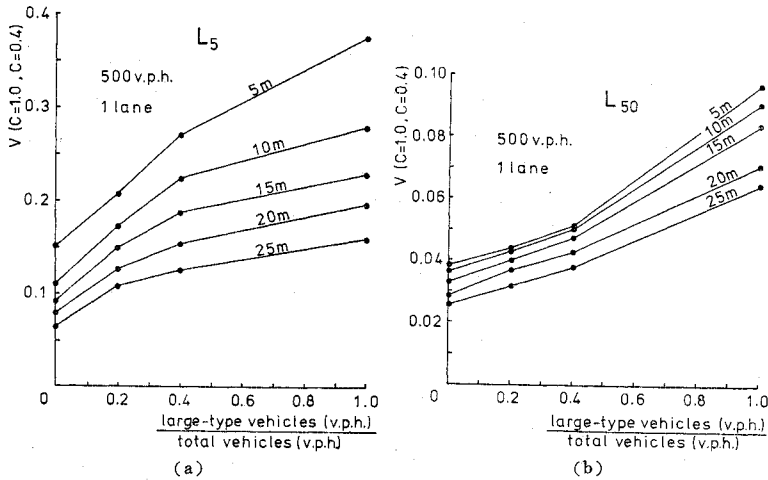


図-11 大型車混入率の影響

考えられる。

車種混合の影響については、一車線、交通量 500 台/時の場合の計算結果を 図-11 に示す。同図の横軸は大型車混入率を示しているが、0~0.4 では L_5 が L_{50} より大型車の混入率の影響を受け、0.4~1.0 ではその関係が逆になっている。また、大型車混入率の増加に対する L_5 の増加は、車道からの距離が大きくなるにつれて緩慢となっている。一方、 L_{50} については、車道からの距離が変わっても同じように増加している。しかし、実際の交通流においては、大型車の混入率は 0.2~0.4 程度と考えられ、混入率の多少の変動は L_5 、 L_{50} にそれほど影響しないと考えられる。

4. 実測値との比較

(1) 測定場所

計算値と実測値がどの程度合致するかの検討のため、次のような条件をできるだけ満足する場所を 3 箇所選定

して実測を行った。

i) 交通流の流入出がなく、信号機による影響がないような場所。

ii) 片側の車線が一車線で、できるだけ直線区間が長い場所。

iii) 車道に直角方向へ向った測線に家屋等の入らない開けた場所。

次に、各測定現場の状況を以下に略述しておく。

a) 国道 176 号線有馬 (神戸市北区)

アスファルト舗装、二車線の道路で、約 700 m の直線区間のほぼ中央で測定を行った。信号機位置は測線位置から約 400 m と約 1000 m である。

b) バイパス第一神明 (明石市)

アスファルト舗装、二車線の道路で、約 1000 m の直線区間のほぼ中央で測定を行った。信号機位置は測線位置から約 200 m と約 300 m である。

c) 国道 175 号線玉津 (神戸市垂水区)

アスファルト舗装、二車線の道路で、約 1000 m の直線区間のほぼ中央で測定を行った。信号機位置は測線位置から両方向に約 500 m である。

(2) 測定方法および整理方法

測定ラインとしては、動電型換振器(固有振動数 1 Hz, 上下動)から直流増幅器を通して、振動速度の波形をデータレコーダに記録した。換振器の設置点は道路端から車道と直角方向に 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 25 m の 5 点で、いずれの測定場所においても簡易舗装の施された交差側道を利用した。また、車頭時間間隔の実測については、種々の方法が提案されているが、いずれの方法も簡便に利用できなかった。そこで、振動速度の測定と平行して、ある一点を車両が通過するときを音声で記録した。

次に、データレコーダの記録は公害用振動計の指示メータを利用して、メータ指示値で再生した。各測定地点での測定個数は数値計算と合わせて、5 秒間隔瞬時値

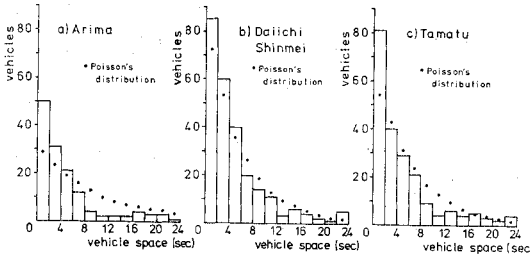


図-12 車頭時間間隔の分布

表-1 計算条件

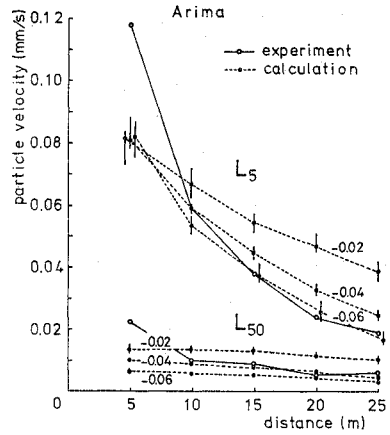
測定場所	交通量 (v.p.h.)	大型車混入率	係数 C (大型車)	減衰係数 α
有馬	341	0.318	0.292	0.02
			0.357	0.04
			0.436	0.06
第一神明	610	0.197	0.225	0.02
玉津	520	0.114	0.169	0.02

250 個 (約 21 分間) とし、その累積度数曲線から L_5 , L_{50} を求めた。一方、車頭時間間隔については、データレコーダに記録した音声により求めたが、その結果を図-12 にヒストグラムで示す。なお、参考までに、同図には理論値も示してある。同図で、実測値が 0~4 秒では理論値より大きく、6~16 秒では理論値より小さく出る傾向にあるが、これについては信号機の影響が出ているものと思われる。

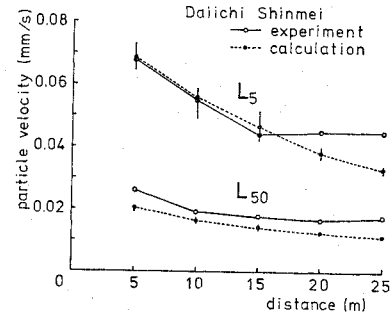
(3) 実測結果と計算結果の比較

まず、それぞれの測定場所に対する数値計算のための条件を表-1 に示す。これらの条件以外の計算条件は前節のシミュレーションの条件で述べた諸数値を用いた。表-1 における交通量および大型車混入率は測点を設けた側の車線に対するものであるが、反対側車線に対しても同じ数値を用いた。また、係数 C を求めるに際しては、図-2 を考慮して、道路端から 10 m 地点での測定データを用いた。つまり、大型車通過時の振動速度のピーク値数個の平均値を式 (10) に代入して求めた。

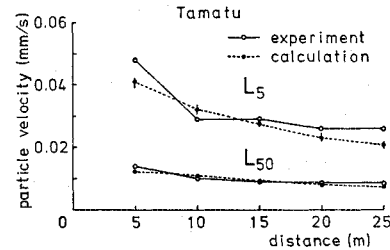
交通流をモンテカルロ法によってシミュレーションする前に、実測の車頭間隔を用いて車両を配列し、地盤振動を計算した。その計算結果を実測結果と比較して、図-13 に示す。なお、車頭間隔の実測において、大型車の混合状態は記録できなかったため、実測の大型車混入率になるように、乱数を利用して大型車の配列を行った。 $\alpha=0.02$ と仮定して求めた計算値と実測値の対応は、有馬を除いて比較的一致していると言える。一方、有馬については、 $\alpha=0.04$ として計算した方が $\alpha=0.02$ とした場合よりもよく合っている。なお、係数 C, α は各測定現場の路面状態、伝播経路の地質等によって違っ



(a)



(b)



(c)

図-13 計算値と実測値の比較 (交通流: 実測)

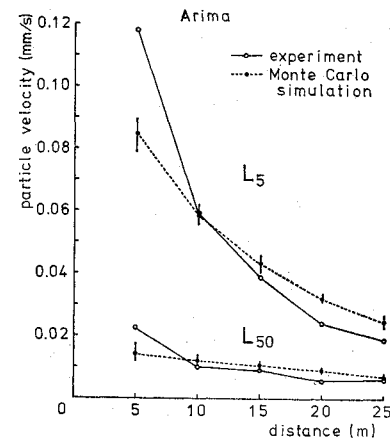


図-14 計算値と実測値の比較 (交通流: モンテカルロシミュレーション)

た値をとるものと考えられるが、今回の実測調査では路面状態および地質等については調査を行っていないので、ここでは詳しく議論することは省略する。

次に、交通流をモンテカルロ法によってシミュレートして求めた計算値と実測値を比較した結果の内、有馬 ($\alpha=0.04$ の場合) について図示したものが図-14である。同図と図-13(a)とあわせて見ると、本研究で用いた沿道の地盤振動のシミュレーションはほぼ満足すべきものである。なお、他の測定場所については、交通流をモンテカルロ法でシミュレートして求めた計算値は図-13(b), (c) の計算値とほとんど一致しているので図示することは省略した。

5. あとがき

連続走行する車両による沿道の地盤振動の性質を、簡単なモデルに置き換えて数値計算を行い、実測結果との比較を行ったが、振源の条件、地盤の振動伝達特性などをかなり大胆にモデル化した割には合っていると思われる。ここで、得られた結論をまとめると以下のようである。

(1) Lamb の漸近式に指数減衰項を乗じた式を用いて、走行車両による沿道地盤の振動をある程度評価することができる。

(2) 交通流をポアソン分布と仮定し、モンテカルロシミュレーションして求めた地盤振動の計算値は実測値と比較的一致している。

(3) 連続走行する車両による地盤振動の L_0 の距離減衰率は、一車両による地盤振動に相当する距離減衰率と違って、数台の車両による振動波形の合成の効果がでてくる。

(4) 適当な補正係数を考えておけば、二車線モデルで計算を行わなくても、一車線モデルで二車線道路の種々の傾向を知ることができる。

(5) 交通量の変動は、 L_0 にはあまり影響を及ぼさないが、 L_{50} には車道からの距離が小さくなるほど、大きく影響している。

(6) 通常交通流程度の車種混合状態では、大型車混入率の多少の変動は L_0 , L_{50} にそれほど影響を及ぼさないと考えられる。

以上のようなことが、今後の課題としては次のようなことを考えていく必要がある。

i) 交通流をポアソン分布に従うと考えたが、実際には信号機、車線数などの影響を受け分布が異なると考えられ、その分布の把握が必要である。つまり、非常定交通流としての取り扱いが必要となってくる。

ii) 本研究における計算値は、路面状況等が比較的

良好で苦情等の生じていない所での実測値と比較している。したがって、実際に振動公害問題の生じている所では、他に様々な要素もあると思われるので、さらに条件を変えた場合の検討も必要である。

iii) 係数 C は路面状態と車両の相互作用による接地荷重の変動と伝播経路の媒質の物理的諸性質を知ることによって、式(4)から決定することが可能である。しかし、係数 α については理論的に決定することは難しく、実測データの収集が望まれる。いずれにしても、係数 C , α の決定は地盤振動のシミュレーションを行うためには今後の重要な問題と言える。

終りに、本研究は本学会学術講演会における発表論文^{14), 15)} にデータの追加と考察に手を加えてまとめたものであるが、数値計算、実測等に関して当時神戸大学大学院生 水野正英君の協力を得た。また、本研究を進めるにあたり、神戸大学 桜井春輔教授に適切な助言をいただいた。深く感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 庄司 光・山本剛夫・中村隆一・橋本和平・片山 徹：モンテカルロ法による交通騒音の推定，土木学会論文集，No. 154, pp. 34~39, 1968.
- 2) 畑中元弘・北村泰寿・永沢章行・中西治嘉：振動レベル計による交通振動測定について—振動速度と振動レベルの対応—，昭和48年度関西支部年次講演会概要集，III-10, 1973.
- 3) 交通工学研究会：交通工学ハンドブック，技報堂，pp. 123~139, 1973.
- 4) 本多弘吉：地震波動，岩波書店，pp. 38~45, 1954.
- 5) 畑中元弘・北村泰寿：走行車両による神戸市内沿道の振動（第3報），建設工学研究所報告，No. 15, pp. 152~164, 1973.
- 6) 野嶋 治・田治見 宏・市川修三：建物と地盤の相互作用に関する基礎的研究，竹中技術研究所報告，No. 9, pp. 38~50, 1973.
- 7) 永沢章行：走行車両による地盤振動に関する基礎的研究，神戸大学工学研究科修士論文，pp. 58~64, 1974.
- 8) 妹沢克惟：振動学下巻，岩波書店，pp. 634~635, 1949.
- 9) 小林芳正：くい打ちによる地盤の振動と変状，鉄道技術研究所報告，No. 583, 1967.
- 10) 北村泰寿・宮川 清・中川栄作：くい打ち工事による地盤振動について（その2），昭和49年度関西支部年次講演会概要集，III-43, 1974.
- 11) 守田 栄・高橋賢治・宮本俊二・奥田三雄：騒音測定法の新しい指向への2, 3の検討，日本大学工学部紀要，第13巻，分類A, pp. 67~73, 1972.
- 12) 畑中元弘：走行車両による神戸市内沿道の振動（第1報），建設工学研究所報告，No. 10, pp. 189~213, 1967.
- 13) 畑中元弘：走行車両による神戸市内沿道の振動（第2報），建設工学研究所報告，No. 12, pp. 41~59, 1969.
- 14) 北村泰寿・水野正英：走行車両による地盤振動のシミュレーション，昭和49年度関西支部年次講演会概要集，III-42, 1974.
- 15) 北村泰寿・水野正英・永沢章行：走行車両による沿道の地盤振動について，第29回年次学術講演会概要集，III-93, 1974.