

III-62 走行する衝撃的振動源による地盤の振動

立命館大学理工学部土木工学教室 正員 畠山直隆
同 上 正員 早川 清

都市の再開発による道路網の整備増強に伴い自動車の流水がよくなるとともに交通量が増大し、交通車輛の大型化なども原因として沿道住民の振動による苦情が多くなっている。道路上を通過する自動車によって惹き起これる振動は道路の周辺の地盤に伝播し、さらにその地盤上にある建物などを振動させ公害問題を惹き起こるのであるが、この振動は地盤の弾性的要素、道路の舗装の種類、舗装状態の衰否、勾配、自動車の種類、重量、走行速度などが関係する。騒音についてはすでに自動車走行時の測定方法や予測の方法についての研究がかなりなされていりけれども振動については地盤と伝わる弾性波の複雑さのため道路に伝わる振動問題は騒音に比して影響範囲とその程度が小さかったためあつて個々の測定はなされていてもこうした研究はあまり行なわれていないように思われる。ここでは主として道路を走行する自動車による振動程度の予測の方法を見出すために半無限弾性体としての地盤上に外力が働いた場合の地盤の表面上における振動を求めて、実際の道路について測定した結果を用いて地盤上の振動速度、加速度を計算し、走行車による実測値との対応を調べ、振動程度の予測をする式について検討を行ない、また自動車が2台以上続いて走行する場合にはその振動程度が倍大する点についても検討を行なった。

(1) 半無限弾性体の表面に力を加えたときに発生する弾性波：これに関する研究はまず Rayleigh によつて弾性体の表面に沿つて波動が伝わりうることを証明され、ついで Lamb などによつてこの波動の生成機構が明らかにされたことに始まる。Lamb, 中野, 広野, 林沢, 金井など多くの研究がある。自動車による地盤の振動はその走行速度が地盤と伝わる弾性波の伝播速度に比して甚だ小さいので、振動源は静止状態にあると考へて Lamb などの式をそのまま用いることにする。

半無限弾性体の表面に質量ととり、質量に $R \cdot e^{i\omega t}$ なる鉛直力が働く場合の表面の振動を3次元的に扱めた上下方向変位は次式で与えられる。

$$w_0 = \frac{\kappa R}{2\mu} K \sqrt{\frac{2}{\pi \kappa X}} \cdot e^{i(\omega t - \kappa X - \frac{1}{4}\pi)} \quad (1)$$

ここに $p/\kappa = V_p$ (縦波速度), $p/\kappa = V_s$ (横波速度), $p/\kappa = V_R$ (Rayleigh 波速度), X : 距離, μ : ラーメの定数, ρ : 単位体積質量(地盤), $\alpha = \sqrt{\kappa^2 - \beta^2}$, $\beta = \sqrt{\kappa^2 - \kappa^2}$, $f(\kappa) = 8\alpha\beta\kappa^2$, $F(\kappa) = (2\kappa^2 - \kappa^2)^2 - 2\kappa^2\alpha\beta$, $K = -2\alpha\kappa^2(2\kappa^2 - \kappa^2)^2 / F(\kappa)f(\kappa)$, (1)式によれば w_0 は Rayleigh 波の速度の四方に伝わり、距離の平方根に逆比例して小さくなることが知られる。なお衝撃型の力が働いた場合の解も求められているが、道路に大きな不陸のある場合を除いて大型車によるものは上述の周期力の働く場合の方が適合すると思われる。

いま地盤のポアソン比を $1/3$ とすれば $V_p = 2V_s$, $V_R = 0.928V_s$ となる。 $1/p = 0.006/3 \text{ m}^4/\text{kg} \cdot \text{sec}^2$, $R = 10 \text{ ton}$ とし(1)を計算すると

$$\frac{dw_0}{dt} = 1660 \cdot V_R^{-\frac{5}{2}} \cdot p^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{\frac{1}{X}} \cdot \sin(\omega t - \frac{p}{V_R} X - \frac{1}{4}\pi) \quad (\text{m/sec}) \quad (2)$$

(2) 実測資料による計算と予測式：大阪市内道路において実測した若干例を用いることにする。西成区国道26号線においてはトラックなどによつて惹き起これた波動の伝播速度は $175 \sim 227 \text{ m/sec}$, 生野区勝山通では $250 \sim 400 \text{ m/sec}$ であつたので、これらの地盤の Rayleigh 波速度(V_R)をそれぞれ 200 m/s , 300 m/s とする。またこれらの地区における波動の周期は周期分析の結果最高レベルを示した中心周期はい

けれども 0.076 " であつた。つぎに R の大きさすなわち外力としての自動車の荷重に關係する量の問題となるが、(2)式では $R = 10 \text{ ton}$ としてある。これらの計算結果自動車の前後輪に 5 ton ずつかかるとして実測値と對比して図示すると、1, 2 図のようになる。図中には公害振動計といわれるメーター指示方式の計器で測定した振動速度のピーク値を示しておいた。ただし実測値はすべて多く、測定値中の最大値で示した。また加速度についても同様を求めることができる。すなわち、2 図によれば計算値も実測値もかなりよく一致することが知られる。したがつて (2) 式の振動速度を次の形にかくことができる。

$$\frac{dw_0}{dt} = C \cdot V_R^{-\frac{5}{2}} \cdot P^{\frac{1}{2}} \sqrt{\frac{1}{X}} \quad \dots\dots (3)$$

また加速度は

$$\frac{d^2w_0}{dt^2} = C' \cdot V_R^{-\frac{5}{2}} \cdot P^{\frac{1}{2}} \sqrt{\frac{1}{X}} \quad \dots\dots (4)$$

(3), (4) 式中の C, C' は主として道路の状況、自動車の重量と速度に關する影響と含む係数である。種々の条件下で多くの実験からこの係数を定めねばい。

(3) 2 台の自動車並走して走行したときの車頭間隔の影響：第 3 図のように 2 なる車頭間隔で走行しているとき 0 車における振幅を考えると (2) 式より A 車にある自動車については

$$\frac{dw_{0A}}{dt} = P_A \sin \left(pt - \frac{P}{V_R} l - \frac{1}{4}\pi \right)$$

B 車にある自動車については

$$\frac{dw_{0B}}{dt} = P_B \sin \left(pt - \frac{P}{V_R} \sqrt{l^2 + x^2} - \frac{1}{4}\pi \right)$$

とすることができ、0 車における合成振幅は

$$\left\{ P_A^2 + P_B^2 + 2P_AP_B \cos \frac{P}{V_R} (l - \sqrt{l^2 + x^2}) \right\}^{\frac{1}{2}}$$

となるので、 $\frac{P}{V_R} (l - \sqrt{l^2 + x^2}) = \pm 2\pi n$ のとき最大となる。いま上式によつて $n=1$ のときの x を求めると l によつて異なり、第 1 表のようになる。第 4 図に大阪市に

l	5	10	15	20
x	8.9 19.6	23.1	26.2	29.0

第 1 表

単位: m

における事例を示した。(しかしこの場合は車頭間隔は不明である。)

一般に地盤の振動は成層條件の影響から振動源からの距離にしたがつて一般に減衰せず凹凸を置いて次第に減少するので、上述の (3), (4) 式の適用がしにくい場合もありうるが、さらに自動車並走して走行したときは 2 車頭間隔によつて著しく振幅が大きくなる場合がある。上述の予測式を作成するにあつてはこれらの条件を考慮に入つておかなければならない。

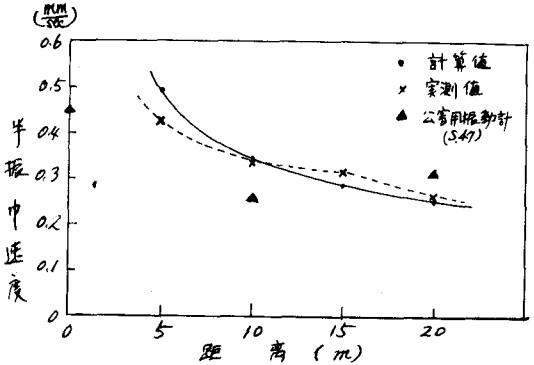


図 - 1

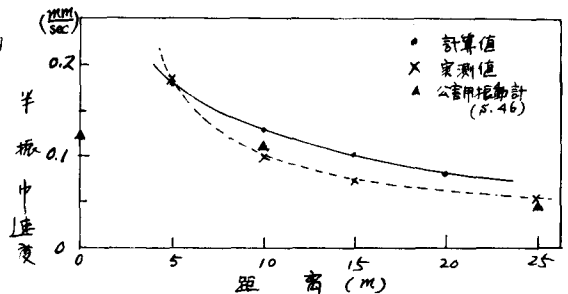


図 - 2

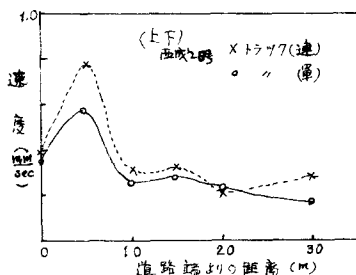


図 - 4

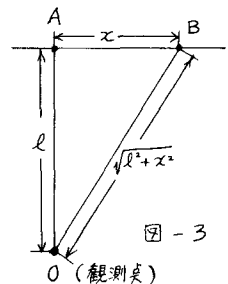


図 - 3