

神戸大学工学部 正 員 北村 泰寿
神戸大学大学院 学生員 ○武居 智

1 はじめに

道路交通車両による沿道の地盤振動をシミュレーションする場合、便宜的に走行車両を空間的に固定した加振源として取り扱ってきた^{1), 2)}。本研究は、加振源の移動が地盤振動に及ぼす影響を把握するために行ったものである。

2 基礎式

三次元半無限弾性体において、 x, y 平面を地表面、 z 軸を深さ方向とする。円振動数 p 、振幅 Q の調和振動荷重が一定速度 V で x 軸の正方向に走行するとき、表面の鉛直変位解 w は次式のように誘導される。

$$w = -\frac{Qe^{ipt}}{4\pi^2\mu} \int_0^\infty \int_0^{2\pi} \frac{k\lambda_s^2 \sqrt{k^2 - \lambda_p^2}}{F(k, \lambda_p, \lambda_s)} e^{ikV \cos\theta t} e^{-ik(x \cos\theta + y \sin\theta)} d\theta dk \quad (1)$$

ここに、 $F(k, \lambda_p, \lambda_s)$ は半無限弾性体に対するレイリー関数（詳細は省略）、 λ_p, λ_s は P 波、S 波の波数に関わる変数（詳細は省略）、 μ はせん断弾性係数である。式中の x, y は時刻が $t = 0$ のときの荷重位置を原点とする観測点の座標を表す。式(1)は、調和振動荷重 Qe^{ipt} に対する走行効果を考慮した変位式になっていることが分かる。しかし、この誘導過程をランダム振動荷重の走行問題に適用することはできない。本研究では、ランダム振動荷重 $Q(t)$ を次式のように有限時間長 $|t| \leq T/2$ のフーリエ級数に展開する。

$$Q(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \varphi(p_m) e^{ip_m t} \quad (2)$$

ここに、 $p_m = 2\pi m / T$ 、 $\varphi(p_m)$ は $Q(t)$ の有限フーリエ変換である。式(2)の形は、ランダム振動をフーリエ級数に展開すれば、式(1)が利用できることを示している。

3 ランダム振動荷重の解析

自動車が路面凹凸を通過するときの接地荷重の計算では、簡単のため地盤振動に大きな影響を及ぼす後輪のみのモデルを考える。路面凹凸のパワースペクトル $S_R(p)$ に接地荷重の周波数応答関数 $H_Q(p)$ を掛ければ、接地荷重のパワースペクトル $S_Q(p)$ が次式のように表される。

$$S_Q(p) = |H_Q(p)|^2 S_R(p) \quad (3)$$

ところで、ISO は路面凹凸のパワースペクトルを路面周波数に対して規定している。このパワースペクトルを自動車の走行速度を考慮して周波数領域のパワースペクトルに書き直せば $S_R(p)$ が得られる。

接地荷重のパワースペクトル $S_Q(p)$ から時系列を発生させ、さらにこの時系列をフーリエ級数に展開する方法を採用する。この考えに基づいて、接地荷重のシミュレーション式を書き表せば次式ようになる。

$$Q(t) = \sum_{j=-N, j \neq 0}^N \sqrt{S_Q(\bar{p}_j)} A p_j e^{i\varphi_j} e^{i\bar{p}_j t} \quad (5)$$

ここに、 $\bar{p}_j$ は有限な周波数領域を N 区間に分割したときの j 番目区間の中央値、また φ_j は位相であるが、パワースペクトル $S_Q(p)$ には位相情報が含まれていないため、 $0 \sim 2\pi$ 間の一様乱数を利用する。

4 計算結果とその考察

計算条件として、荷重の走行速度を 60 km/hr 、地盤のせん断波速度を 200 m/s 、密度を 1.8 t/m^3 、ポアソン比を $1/3$ とする。

図-1 は、一例として、振幅 $Q = 9.8 \text{ kN}$ で振動数 5 Hz の調和振動荷重が走行するときの地盤変位の時

系列を示したものである。同図には 0 Hz (一定) の荷重が走行するときの時系列も示したが、調和振動荷重に対する応答の包絡線となっていることがわかる。調和振動荷重が測点に近づく側の波形は遠ざかる側の波形に比べて若干密になっている。これは、走行速度 60 km/hr でもドップラー効果が生じることを表している。

つぎに、同じ地盤条件のもとで、路面凹凸を大型自動車が行走する場合の結果を示す。図-2は接地荷重のシミュレーション結果で、パネ上振動数成分にパネ下振動数成分が重畳した波形になっていることがわかる。図-3は、測点 $(0, 1\text{ m})$ および $(0, 5\text{ m})$ における地盤変位の時系列を、自動車を原点に固定した場合の地盤変位と比較したものである。測点 $(0, 1\text{ m})$ では測点から自動車の位置が離れるとともに固定の場合より急速に減少しており、自動車走行の効果が顕著である。一方、測点 $(0, 5\text{ m})$ では走行と固定の差は小さくなっており、走行の効果は無視し得る程度である。

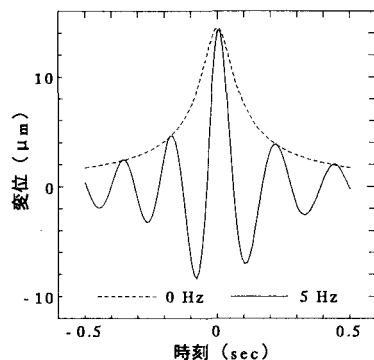


図-1 調和振動荷重の走行

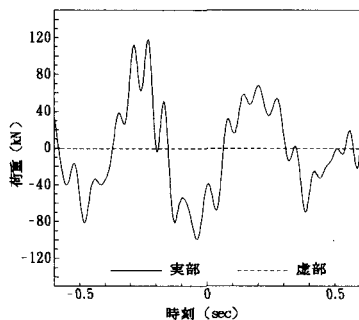


図-2 接地荷重の波形

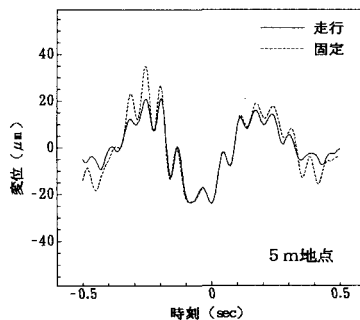
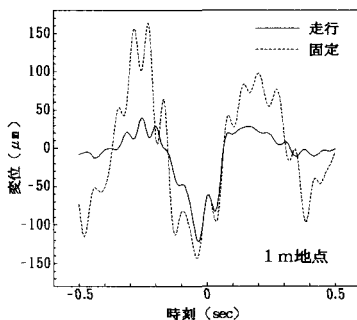


図-3 自動車走行と固定による地盤振動の比較

自動車を空間的に固定した加振源として取り扱うための一つの方法として、加振源を固定した場合の地盤応答波形に、一定荷重が走行するときの応答を包絡線として掛け合わせることが考えられる。図-4は、この考えに基づいて求めた地盤変位の時系列を走行の場合と比較したものである。測点 $(0, 1\text{ m})$ および $(0, 5\text{ m})$ のいずれでも、

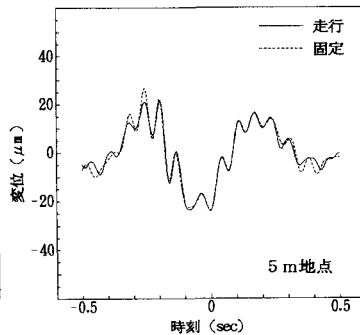
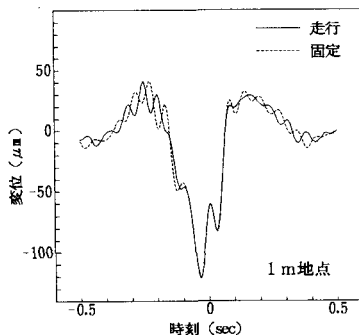


図-4 一定荷重走行の地盤振動波形による補正

応答の大きさは良好な一致を示しているが、波形には時間的なずれが見られる。振動荷重の走行による応答には荷重位置の移動とともに距離差による位相差が生じるが、一定荷重の走行にはこの位相差が生じない。したがって、一定荷重の走行による地盤応答を包絡線として掛け合わせる方法では、位相特性については対処できないことがわかる。この点については、さらに今後の課題としたい。

[文献]

- 1)北村・森：単一走行車両による地盤振動のシミュレーション，土木学会論文報告集，第 270 号，1978.
- 2)北村・田中・有田：成層粘弾性地盤の過渡応答解析，建設工学研究所報告，第 37 号，1995.