I－12　　　　路面凹凸のSimulationについて

○金沢大学工学部　正員　小堀為雄
コロンビヤ大学　正員　篠塚正宣

1．まえがき

この方法は，地震波形の作成法として京都大学の後藤・土岐氏[1]によって用いられたものを，コロンビヤ大学の篠塚[2]が，理論的裏づけを行なった方法を，路面凹凸の$Simulation$法に応用したものである。

この方法で種々の舗装路面に対する凹凸が作成され，その性質は統計学的にそれぞれの舗装に対して代表されるものである。これらの波形を用いることによって，自動車工学上は走行自動車の振動問題や走行安定性の問題に，また，道路工学や橋梁工学上は，走行自動車による路面・路盤の衝撃問題に，橋梁の振動問題に利用可能であり，その一例として，われわれは道路橋の疲労寿命の推定法への応用に関して研究を行なった。[3,4]以下に路面凹凸の$Simulation$法について説明する。

2．路面凹凸のパワースペクトル

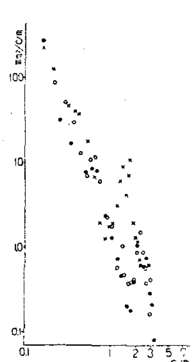
路面凹凸のパワースペクトルは自動車工学上，特にテストロードの設計上から研究が進められた様である。兼重氏[5]は試験車の走行によるばね下およびばね上質量の振動記録から砂利道，舗装路面さらにその良否など種々の路面について不規則振動解析の方法を用いて種々の路面のパワースペクトルを提示している。その結果の主なものを図－1，2および3に示す。

ここで用いられている路面凹凸$X(t)$のパワースペクトル$S(f)$と自己相関関数$R(\tau)$などの関係は次式である。

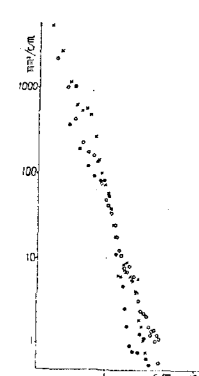
$$\lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2}X(t)\,dt=0 \qquad (1)$$

$$\lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2}X(t)\cdot X(t+\tau)\,dt=R(\tau) \qquad (2)$$

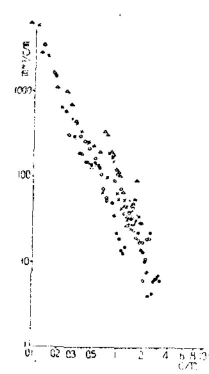
$$S(f)=\int_{-\infty}^{\infty}R(\tau)\exp(-2\pi i f\tau)\,d\tau \qquad (3)$$



図－1．舗装路面スペクトル



図－2．非舗装路面スペクトル



図－3．砂利道路面スペクトル

一方，川合・森崎氏[6]は主として名神高速道路および谷田部の自動車高速試験場で行なった走行試験の結果から兼重氏と同様に路面のパワースペクトル密度を出している．その結果は図－4のとおりである。

図－1～4に示すように路面凹凸のパワースペクトルは

$$S(\Omega)=a\,\Omega^{b} \qquad (4)$$

で表らわされる。

一般にこのbは図の直線の勾配を示し，路面の良否に関係なく－2前後であり，aは舗装路面によって異なる。それ故に路面凹凸の良否による係数と考えられる。

3．路面凹凸の$Simulation$

以上のように路面凹凸のパワースペクトルから各種路面の凹凸をSimulationすることを考えよう。路面凹凸波$y(x, z)$のスペクトル表示は次のようにあらわされる。

$$y(x,z)=\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\cos(\omega x+\Omega z+\phi(\omega,\Omega))\sqrt{A(\omega,\Omega)^2 d\omega d\Omega} \qquad (5)$$

ここにωはx方向の路面凹凸の周波数であり，Ωはz方向の路面凹凸の周波数で，$\phi(\omega,\Omega)$は位相差を示す。$A(\omega,\Omega)$は路面凹凸のパワースペクトルである。これは，xおよびz方向の波形の位相関係$\phi(\omega,\Omega)$の全くランダムな波形を重畳したものと考えることができる．故に形の上では，

$$y(x,z)=\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\exp\{(j\cdot 2\pi(\omega' x+\Omega' z)\}S(\omega',\Omega')\,d\omega' d\Omega' \qquad (6)$$

であらわされる。今，簡単のために，x方向のみについて考えよう。この場合，凹凸は，ランダムな周波数ω_nをもっとして，

$$y(x)=A\sum_{n=1}^{N}\cos(\omega_n x+\phi_n) \qquad (7)$$

としてあらわされる。式(7)中の$y(x)$の分散は，

$$\sigma^2=\frac{N}{2}A^2 \qquad (8)$$

一方，パワースペクトル$S(\Omega)$をもつ路面凹凸の分散は，

$$\sigma^2=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}S(\Omega)\,d\Omega \qquad (9)$$

であらわされ，式(7)の係数$A=\sigma\sqrt{2/N}$としてあらわされる。この場合路面凹凸$y(x)$は，

$$y(x)=\sigma\sqrt{2/N}\sum\cos(\omega_n x+\phi_n) \qquad (10)$$

ここに，ω_nはランダムな周波数でパワースペクトル$S(\Omega)$に適合するようにモンテカルロ法で求める。1例としてSimulationされた路面凹凸とその凹凸のパワースペクトルを図－5に示す。[2] 計算はコロンビヤ大学電子計算機IBM-360による。

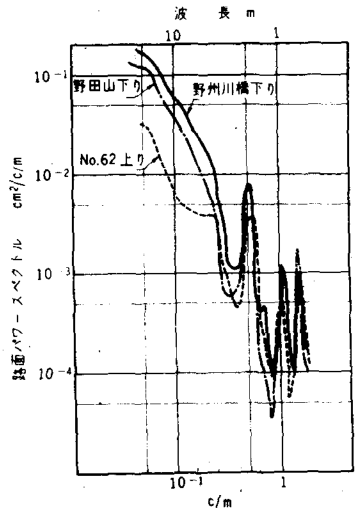


図-4.

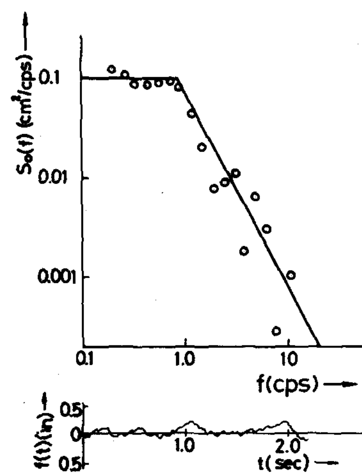


図-5. Simulationされた路面凹凸とその凹凸パワースペクトル

参考文献

1) Goto, H. and Toki, K., "Structural Response to Nonstationary Random Excitation", Proc. of 4th world Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile, 1969.

2) Shinozuka, M., "Simulation of Multivariate and Multidimensional Random Processes" Technical Report of Columbia University, 1970.

3) 小堀・篠塚, "道路橋の疲労寿命の一推定法" 土木学会第25回年次講演集第1部 p197~200, 1970.

4) Shinozuka, M. and Kobori, T., "Fatigue Life of Simple Bridges ; A Sensitivity Study", NSF-GK3858 Technical Report No.8, Columbia Univ., in print, 1970.

5) 兼重, "パワースペクトル解析の自動車への応用" いすゞ技報, 第33号, p1~9, 1960.

6) 川合・森崎, "自動車走行路面の性質と振動乗心地への関連性" 三菱重工技報 Vol.2, No.2, p20~27, 1965.