

路面の凹凸スペクトル形状に関する一考察

函館高等 正会員 ○ 川村 彰
北海道大学 正会員 加来 照俊

1. ま え が き

筆者らは、路面凹凸を車の運動（乗心地、操縦性・安定性等）との相関面から定量的把握を試みているが、本研究においては、積雪寒冷地での冬期路面凹凸の実態把握という目的から路面凹凸スペクトルという形で統計的に定量化を行ない、ISOで提案されている路面の良否区分及び、従来夏期路面で発表されている路面凹凸のモデル式の冬期路面への適合性に関し、最小二乗法を用いて実測値との対比を行なった。

2. 路面凹凸の測定手法

路面凹凸を測定する手法は、従来から種々考案されてきているが、本研究における冬期路面凹凸を測定すること及び、車に与える影響を知るということから、高速測定が可能であり、車自体が測定器になりえる車の周波数応答特性を利用して求める方法を用いた。

この場合、測定に用いられる関係式は次式で表わされる。すなわち、

$$P_r(f) = P_g(f) / |A(f)|^2 \quad \text{----- (1)}$$

ここで、 $P_r(f)$ は推定する路面凹凸のパワースペクトルであり、 $P_g(f)$ は、車の任意の部分（本研究においては、重心部）に生じる加速度のパワースペクトル、 $A(f)$ は、ト-ギ間の周波数応答関数である。

したがって、上式を用いる際には、 $A(f)$ が既知でなければならないため、路面凹凸スペクトルが既知である路面上を走行した時に試験車に測定される上下方向加速度パワースペクトルから $A(f)$ を求めるわけであるが、その際には、 $P_r(f)$ と $P_g(f)$ 間で線形関係が満足されていることが必要となるため、ここでは、試験車の車速の影響を考察した。図-1は試験車の測定時の走行速度である20 km/hと40 km/hにおける $A(f)$ の形状であるが、結果から、両速度ともほぼ同じ結果が得られ、車の周波数応答特性が非線形となるような走行状態でない限り、周波数応答関数の形状は同じであるといえる。

3. 最小二乗法による路面凹凸モデルの解析

図-2は、先に示した手法に基づき測定された札幌市内における夏期と冬期の路面の代表例であり、ISO（国際標準化機

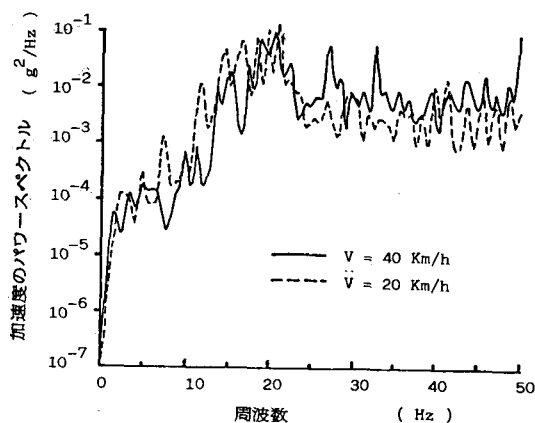


図 1 周波数応答関数の比較

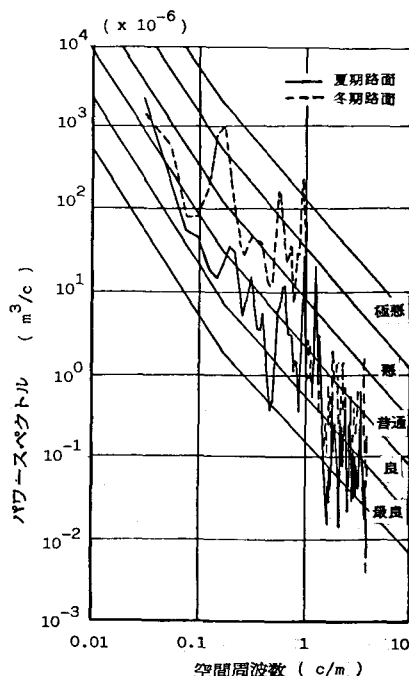


図 2 路面凹凸のパワースペクトル表示

構)で示された規準案に基づき路面の良否区分を所な、たものである。⁽¹⁾ ISOが提唱している路面凹凸スペクトルの形状は、路面凹凸の空間周波数 n (c/m)によるパワースペクトル $P(n)$ で示され、

$$\begin{aligned} P(n) &= P(n_0)(n/n_0)^{-w_1} & n \leq n_0 \\ P(n) &= P(n_0)(n/n_0)^{-w_2} & n \geq n_0 \end{aligned} \quad \text{----- (2)}$$

(ここで、 $w_1 = 2$, $w_2 = 1.5$, $n_0 = 1/2\pi$ である。)

で表わしている。これに対し、道路橋路面等夏期路面で従来発表されている路面凹凸パワースペクトルのモデルは、(2)式と同じ記号を用いて表わすと、

$$P(n) = \alpha n^{-W} \quad \text{----- (3)}$$

$$P(n) = \frac{\alpha}{n^W + \beta^W} \quad \text{----- (4)}$$

(ここで、 α は定数、 β は分布形状のパラメータである。)

で表わされ、(2)式と同様に指数関数で近似できるとし、(3)式では、 W は1.3~2.5、 α は $0.1 \sim 6$ ($\text{mm}^2/\text{m} \cdot \text{c}^{-1}$)ぐらいと報告されている。⁽²⁾

次に、先に測定した札幌市及びその近郊の幾つかの路面凹凸パワースペクトルに対し、(3)(4)式のモデルを用い、最小二乗法の解析結果から、最適パラメータの値とモデルの適合性について解析を行な、た。表-1はその解析結果であるが、(3)のモデルに関し、夏期路面では、橋梁部も含めこれまでの解析結果とはほぼ同様の推定値が得られ、モデルの適合性を示す残差二乗和(RSS)及び赤池の情報量規準AICの値も類似した傾向が見られたのに対し、冬期路面ではRSS、AICの値とも夏期路面と比べてばらつきが見られる。

このことから、冬期路面に関し、(4)のモデルの適用を行なうと、路面3、4のように(3)のモデルよりも適合性の良い路面もみうけられ、冬期路面状況の多様性が推察できよう。

4. おわりに

本研究においては、車の周波数応答特性を利用して求めた時の夏期と冬期における路面凹凸形状の相違をモデルの適合性面から最小二乗法を用いて考察を行ない、冬期路面の現状を紹介した。今後本研究を進めていくにあたり、図-3に示されるような車の操縦性・安定性面に影響を及ぼす横方向運動と路面凹凸との相関に関しても解析を行なう予定である。なお、本研究にあたっては、北海道大学大型計算機センターの最小二乗法標準プログラムSALSを用いた。

参考文献

- 1) ISO: Proposals for Generalized Road Inputs to Vehicles, ISO/DIS 2631, 1972
- 2) 本田, 城戸他 道路橋の路面凹凸パワースペクトル密度に関する調査, 土木学会論文報告集 No. 315, 1981
- 3) 赤池弘次 モデルによるデータと測る, 数理科学 No. 213, 1981

表 1 最小二乗法によるパラメータの推計結果

P(n) = an ^{-w} model					
	a	w	RSS	AIC	路面状況
夏期路面	0.71	1.56	6.2577 × 10 ⁶	2.6800 × 10 ³	マンホールあり
夏期路面	1.32	1.41	5.6686 × 10 ⁶	2.6631 × 10 ³	
夏期路面	0.36	1.54	2.5644 × 10 ⁶	2.5275 × 10 ³	縦りょう
夏期路面	0.12	2.23	1.7931 × 10 ⁷	2.8600 × 10 ³	
夏期路面	0.65	1.29	1.3920 × 10 ⁷	2.8168 × 10 ³	橋梁の端部
冬期路面	2.45	1.29	8.5007 × 10 ⁶	2.7324 × 10 ³	横断方向設置あり
冬期路面	0.82	1.01	2.1105 × 10 ⁸	3.2817 × 10 ³	凹凸形状
冬期路面	1.31	2.42	5.2600 × 10 ¹⁰	4.2253 × 10 ³	そろばん状
冬期路面	25.94	0.97	4.8862 × 10 ¹⁵	6.1814 × 10 ³	そろばん状
冬期路面	2.13	0.97	1.7282 × 10 ⁵	2.0663 × 10 ³	
P(n) = $\frac{\alpha}{n^W + \beta^W}$ model					
	a	w	RSS	AIC	
冬期路面	107.24	5.25	1.90	9.6342 × 10 ⁶	2.7558 × 10 ³
冬期路面	0.80	0.99	0.0	2.1131 × 10 ⁸	3.2839 × 10 ³
冬期路面	9.93	2.06	0.42	1.4333 × 10 ⁶	2.4300 × 10 ³
冬期路面	42.56	4.04	-1.11	1.6375 × 10 ⁵	2.0589 × 10 ³
冬期路面	55.46	4.43	1.57	2.2689 × 10 ⁵	2.1146 × 10 ³

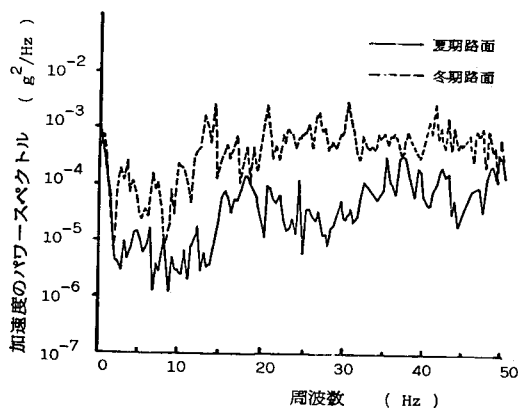


図 3 横方向加速度パワースペクトルの比較