

IV-10 信頼性理論による路面凹凸の評価について

函館工業高専 正会員 川村 彰
北大 工学部 正会員 加来照俊

1. まえがき

本研究は、主として人間の振動乗心地に関係する路面の凹凸の評価手法について、土木・建築等の構造物設計に用いられている確率論手法である信頼性設計法を導入し、車の運動の数学的モデルにより、考察を行なったものである。

2. 車の振動乗心地と路面の凹凸の評価基準について

車の振動乗心地には種々の要因が関係しているが、路面の凹凸が原因となる車の乗心地（主として振動乗心地がそれに相当する）に限定するならば、その基本的変数は表-1に示されるように、「車」、「人」、「路面」に関する項目に分類できよう。これらの変数を考慮した評価指標や基準は各分野で開発され、発表されてきている。

本研究においては、振動解析を行なうことにより各変数の影響を同一見地により把握することを主眼点として国際標準化機構（以下ISOと称す）で提唱されている路面の区分法により検討を行なうものとする。

以下に簡単にその概要を示す。

(1) 全身振動暴露基準

ISOでは、1964年から約10年に及ぶ全身振動暴露基準の検討の結果、ISO-2631(1)で示される勧告を出した。この基準は、暴露時間と制限度ごとに振動数に関係した等感度曲線を求めており、垂直方向振動に関しては、4～8Hz（ 8π ～ 16π rad/s）が人間の乗心地に最も敏感な周波数として、

$$F(\omega) = 1 \quad (8\pi \sim 16\pi) \dots\dots\dots(1)$$

ここで $F(\omega)$ は、等感度曲線を ω は角振動数を示す。さらに、

$$F(\omega) = \sqrt{\frac{8\pi}{\omega}} \quad (2\pi \sim 8\pi) \dots\dots\dots(2)$$

$$F(\omega) = \frac{\omega}{16\pi} \quad (16\pi \sim 160\pi) \dots\dots\dots(3)$$

で示される。さらに、Allenらは、1Hz以下に対しても、

$$F(\omega) = 1.79\omega^{0.69} \quad (0.2\pi \sim 2\pi) \dots\dots\dots(4)$$

で示される基準を発表している。(2)

表-1 車の振動乗心地に関する基本的変数

車に関する	人間に関する	路面に関する
*運動状況 走行速度 加減速 操舵 *諸元 車体 懸架方式 タイヤ特性 ダンパー サスペンション特性	*振動状況 振動方向 振動の大きさ 暴露時間 じょ限度 *個人属性 性別 年齢 職業 運転歴 その他	*凹凸特性 平坦性(波状特性) *供用性 ひびわれ わだち 段差(パッチング、マンホール、ジョイント) *舗装種別 アスファルト舗装 コンクリート舗装 非舗装 *季節(夏期冬期)

(2) 路面凹凸の区分

ISO/TC108 (機械振動、衝撃分野) では、
Proposals for Generalized Road Inputs
to Vehicles(3)を公表し、路面の凹凸パワ
ースペクトル $S(n)$ を次のように定義した。

表-2 路面凹凸の5段階分類

道路区分	$S(n_0)$ の範囲	$S(n_0)$ の幾何学的平均	W_1	W_2
A 極良	2-8	4	2	1.5
B 良	8-32	16	2	1.5
C 平均	32-128	64	2	1.5
D 悪	128-512	256	2	1.5
E 極悪	512-2048	1024	2	1.5

$S(n_0)$ の単位は $1/1000000$ 立方メートル/サイクル
 $n_0=1/2\pi$ cycle/meter

$$S(n) = S(n_0)(n/n_0)^{-W_1} \quad (n \leq n_0) \dots \dots \dots (5)$$

$$S(n) = S(n_0)(n/n_0)^{-W_2} \quad (n \geq n_0) \dots \dots \dots (6)$$

ここで n =空間周波数、 $n_0=1/2\lambda$ である。

さらに上式に基づき路面の凹凸の程度を表-2に示すように5段階に分類している。

3. 信頼性設計法による路面凹凸の評価

構造物における信頼性設計は主として、「破壊確率を一定値以内に押さえること」(4)が主目的であり、安全性を定量的に評価を行なう作業を伴うわけであるが、本研究においては、「安全性」=「振動乗心地」であり、「壊れる」もしくは「危険状態」が乗心地においては、「恕限度を超える」とことと理解される。

(1) 車の振動問題への信頼性理論の適用

Dahlberg(5)らは、ランダム振動を受ける車のスプリング及びダンパーの最適化について2自由度の車の振動モデルにより、ダッシュボットとスプリングとの可動域の超過確率を基に研究を行なっている。

本研究はさらに、ISOの振動乗心地レベルの通過発生率を基に車の走行速度、路面の凹凸の最適化について検討を行なう。

(2) 車の振動モデルとその周波数特性

本研究において用いた車の線形2自由度モデルを図-1に示す。本モデルにより、車が路面から定常不規則過程の振動を受けるならば次式が成立する。

$$S_{\alpha}(\omega) = |H(\omega)|^2 S(\omega) \dots \dots \dots (7)$$

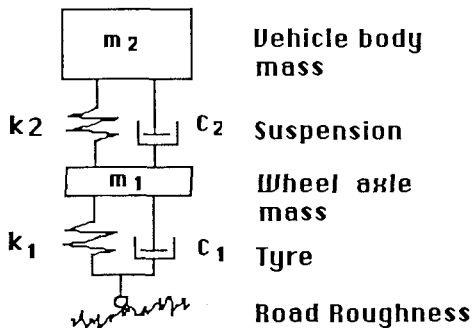


図-1 車の2自由度モデル

ここで、

$S_a(\omega)$: 車のばね上上下方向振動加速度のフーリエスペクトル

$H(\omega)$: 路面凹凸入力と振動加速度との伝達関数

$S(\omega)$: 路面の凹凸フーリエスペクトル

この関係を用いて、普通乗用車における振動加速度のシミュレーションを行なったものを図-2に示す。尚、路面は表-2に示される「平均」のものを用い、ISOの乗心地限界のうち、暴露時間が1時間以内で「不快域」基準のものも参考までに示してある。

(3) ランダム過程の或値通過の発生率

不規則過程理論により $x(t)$ が平均値ゼロの正規分布を持つ定常ガウス過程の時、或値 a を $x(t)$ が上向きに通過する単位時間あたりの発生率は、

$$v = \frac{1}{2\pi} \frac{\sigma_x}{\sigma_x} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{a}{\sigma_x}\right)^2\right\} \dots\dots\dots(8)$$

であり(6)、サンプル時間 T 内に、 $x(t)$ の極大値が発生する期待値 $E[x(t)_{\max}]$ は、

$$E[x(t)_{\max}] = (\sqrt{2\ln vT} + \gamma\sqrt{2\ln vT})\sigma_x \dots\dots\dots(9)$$

(ここで、 γ はオイラー一定数($\gamma=0.5772\dots$)) で示される。(7)

従って、 $x(t)$ を車の振動加速度とし、(2)で示された車の振動モデルにより(8)式により $a/\sigma_x=0.01, 0.1, 1, 2$ のときの v を求めたものを図-3に示す。或値 a の増加に伴い交差頻度が減少する様子が示されている。また、路面の凹凸と車の振動加速度の最大応答について(9)式により求めたものを図-4に示す。図より、車の走行速度・路面の区分における最大応答の違いが明確に示される結果となっている。

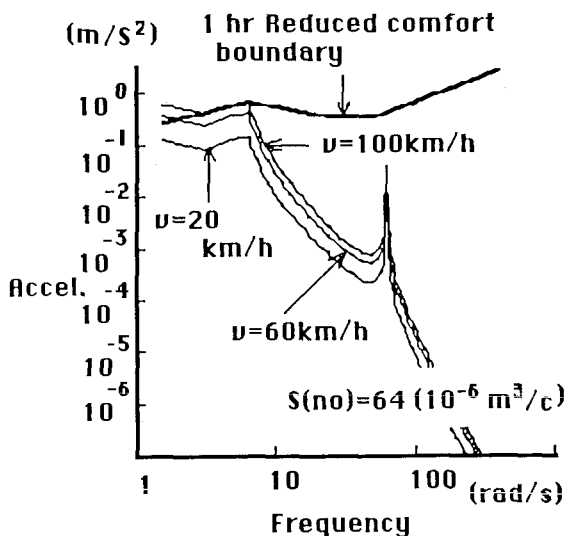


図-2 2自由度モデルの周波数特性とISOの評価基準

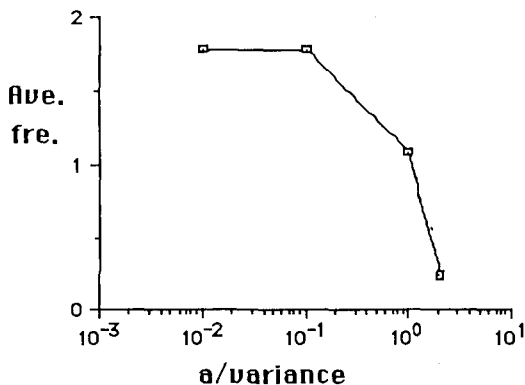


図-3 任意の値との平均交差頻度

4. あとがき

本研究においては、構造物設計で用いられている信頼性設計法を車の振動乗心地評価手法に応用し、実用化するための基礎的な検討を行なったものであり、或値通過確率・最大応答発生率により乗心地レベルを規定し「車一路面」の乗心地指標の検討を試みたものであり、今後車の振動モデルの改良及び実際の道路交通事情に適合した乗心地レベルの設定に関し研究を進める予定である。

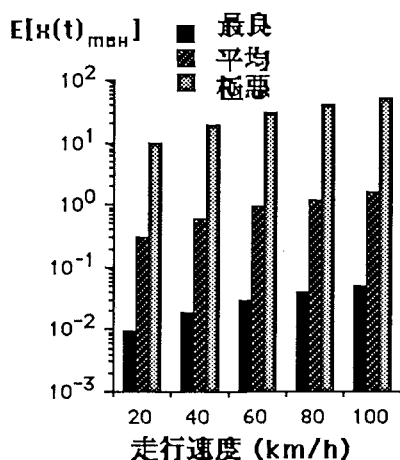


図-4 路面と車の振動加速度の最大応答について

参考文献

- 1) ISO-2631: Guide for the Evaluation on Human Exposure to Whole-Body Vibration, 1974.
- 2) G.R. Allen: Evaluation of exposure to whole-body vibration below 1Hz. U.K. Group Meeting on Human Response to Vibration, University of Southampton, 1975.
- 3) BSI: ISO/TC108/WG9 Document No.5, 1972.
- 4) 星谷勝, 石井清: 構造物の信頼性設計法, 鹿島出版会, 1986
- 5) T. Dahlberg: Parametric optimization of a 1-DOF vehicle travelling on a randomly profiled road. Journal of Sound and Vibration 55, 1977.
- 6) 星谷勝: 確率論的手法による振動解析, 鹿島出版会, 1974.
- 7) T. Dalberg: Ride comfort and road holding of a 2-DOF vehicle travelling on a randomly profiled road, Journal of Sound and Vibration 58(2), 1978.