

IV—4 路面の凹凸による車の振動乗心地評価に関する一考察

函館工業高専 川村 彰
北大 工学部 加来 照俊

1. はじめに

道路交通の諸問題を解決するには、人—車—道路系(a man-vehicle-road system)により検討を行なう必要があることは従来より指摘されていることであり、筆者らも同様の見地によりこれまで研究を行なってきた。(1)(2)

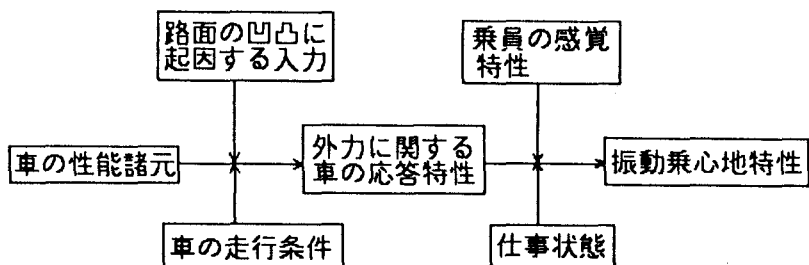
本研究はこれまでの成果をもとに、人間の乗心地感覚と路面の性状評価との相関について実路面走行時の路面の凹凸に起因する振動加速度データから考察を行なったものである。

2. 人間の感覚にもとづく振動乗心地評価について

人—車—道路系により、車の振動乗心地に影響を及ぼす要因についての概念図を図—1に示す。図より、人に関しては、人間の振動感覚特性、仕事状態の程度(心地よさ、作業能率、健康や安全性のいずれを対象とするか)などが乗心地問題に関係してくると思われる。その評価指標としてこれまでに数多くの発表がなされているが、本研究においては、物理的測定地の評価手法として代表的な $\dot{W}_{b, \text{rms}}$ による分析、Pradko, Leeの吸収 I_{abs} -(Absorbed Power)による分析の2手法を取り上げ、実路面走行時において車に測定された振動データの解析を行なった。

1) $\dot{W}_{b, \text{rms}}$ による分析

本手法は、任意の周波数帯域における周波数成分ごとに振動波形に重み関数を乗じ、人間の感覚に比例する量に変換することによって乗心地を数量的に表現しようというもので、Janewayによる乗心地係数の考え方(3)の改良型であり、ISO(International Organization for Standardization)により提案されたものである。(4)



図—1 車の振動乗心地に影響する要因

11) 吸収I値による分析

本手法は、PradkoとLeeにより提案されたもので人体の機械的振動特性に関し、実験にもとずいて人体を振動系で表し、振動を受ける際にこの人体系の内部で吸収されるI値を計算し、これを乗心地の指標とするものである。(5)

Pradkoらによると時間的経過に対する平均吸収I値 - Pabは

$$Pab = \int_0^{\infty} K(f) \cdot P(f) df$$

ここで

$K(f)$: 人体の振動特性にもとずく
重み関数

$P(f)$: 振動入力のパワースペクトル密度

f : 周波数

111) 実測データの評価

上記2手法により分析された結果を示す。尚、用いたデータは実路面走行時の車の重心位置における振動加速度データである。(1)(2)

ISOの評価基準によると人体においては上下方向では4~8Hz、左右方向では、2Hz以下の周波数に敏感であると指摘している。

図-2は、試験車に測定された上下、左右方向加速度のRMS値の1~10Hzの周波数帯域における積分

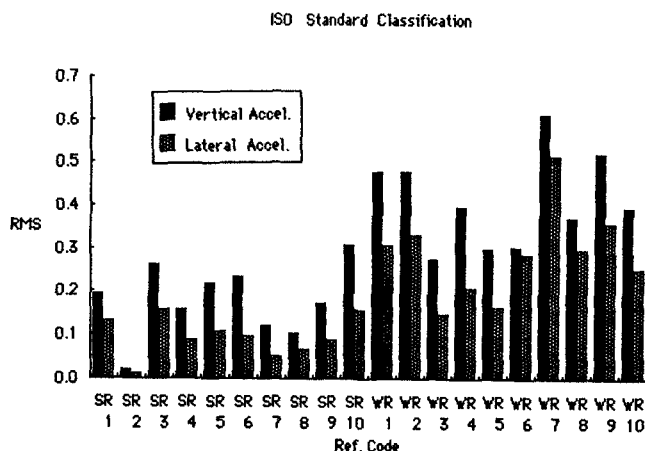


図-2 車の上・下・左右振動加速度の評価 (1~10Hz)

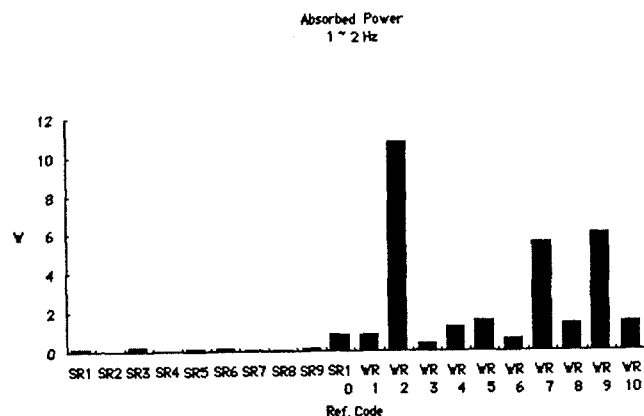
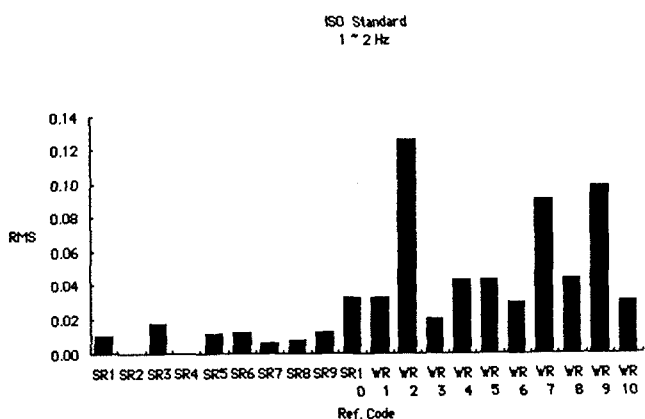


図-3 車の左右振動加速度の評価 (1~2Hz)

値である。図においてSR, WRは、各々夏期路面、冬期路面を示すが、冬期路面が総じて上下、左右方向ともRMS値が高くなっており、乗心地の悪い実状が示されている。

また、一般的に上下方向のものが左右方向のものと比較して大きな値を有しているが、WR6のような冬期路面で、車がロールを起こしながら走行しているものは、上下と左右の値の差は小さいというように路面性状の特色なども推察される。

ISOの評価基準では、人間の感覚として上下方向については4~8Hz、左右方向では1~2Hzにおいて敏感であると指摘している。

図-3、図-4に各周波数帯におけるISOによるRMS値と吸収I₇₄の積分値を示す。

図より吸収I₇₄のものは、単位(watts)の違いもあるが、ISOのもの比べて乗心地の良否が顕著に示される結果となったが、傾向は概ね一致しているといえよう。

さらに、この結果がどの程度の振動許容レベルにあるかを知るため、暴露時間、不快域ごとにISOで決められている評価基準値について、対象となる周波数領域に関する積分値を計算し、この値で実測値のものを除したものをここでP. I. (Performance Index)と定義する。

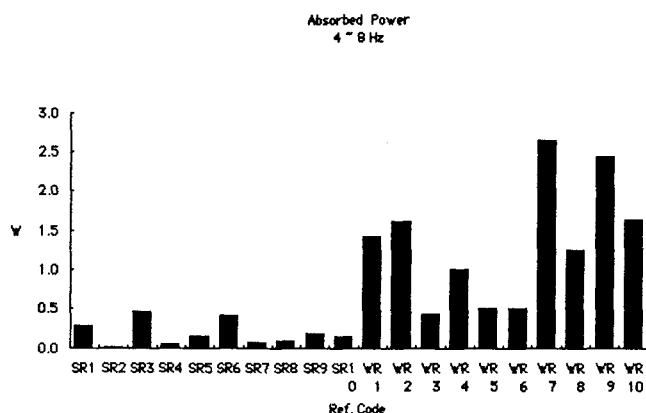
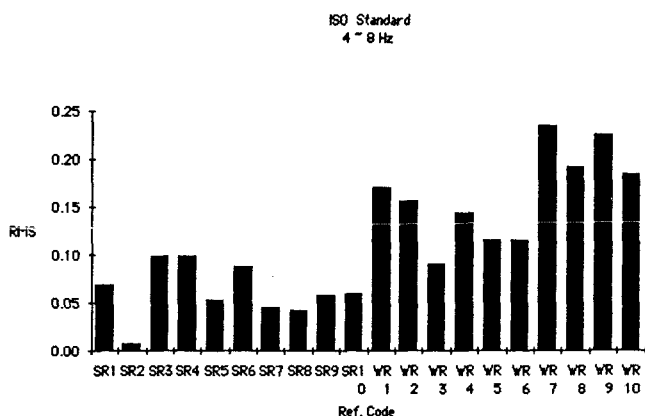


図-4 車の上下振動加速度の評価(4~8Hz)

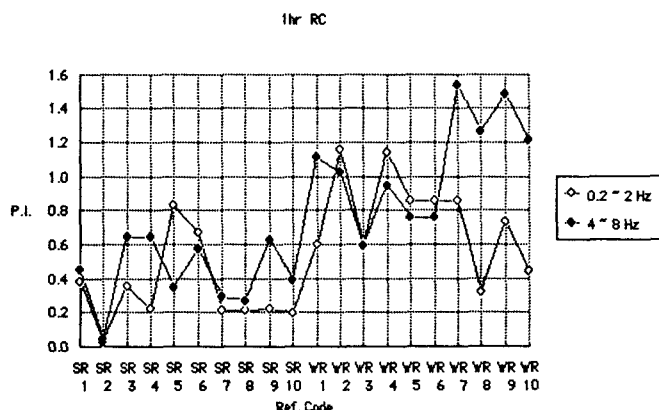


図-5 P. I. による車の振動加速度の評価

先の測定値に関し、振動暴露時間が1時間、不快域が「快適さを保持できる境界」(Reduced Comfort Boundary)についてP.I.を求めたものが図-5であり、P.I.が1を超えているものは、1時間程度快適さを維持することが困難な路面状況と言える。

3. 路面の凹凸 n - w - s と舗装の r - b - s 性との関連について

路面の凹凸は不規則な形状をしていることから統計的には、周波数成分ごとに変位の n - w - s 密度関数により表現されており、路面の凹凸の程度をISOではMIRA(The Motor Industry Research Association)における実験結果をもとにA(極良)からE(極悪)までの5段階に分類している。(6) ISOでは、路面の凹凸 n - w - s $S(n)$ を次式により定義している。

$$\begin{aligned} S(n) &= S(n_0) (n/n_0)^{-w_1} & n < n_0 \\ S(n) &= S(n_0) (n/n_0)^{-w_2} & n > n_0 \end{aligned} \quad \dots \dots (1)$$

ここで、 n : 空間周波数 (cycle/m)、 $n_0 = 1/2\pi$ (cycle/m)、 $w_1 = 2$ 、 $w_2 = 1.5$

道路建設者側では道路舗装における路面性状の良否を供用性面から評価するのが一般的であり、AASHTO道路試験の結果より導かれたサービス指数PSI(7)が広く知られているほか、建設省では、MCI(Maintenance Control Index)を提案している。

本研究においては、路面の凹凸 n - w - s が、舗装における供用性といかなる相関関係にあるかを検討するために、PSIを舗装のサービス性評価指標の代表として取り上げ、路面の凹凸 n - w - s から導出を行なった。

Stenschkeは、路面の I - b - s 密度関数 $A(\lambda)$ を用いてPSIの算定を行なっている。(8) $A(\lambda)$ を用いると路面の凹凸度SVは、 λ を波長として、

$$SV = \int_0^L F^2(\lambda) \cdot A(\lambda) d\lambda \quad \dots \dots (2) \quad |SV| = |\text{rad}|^2 / 10^6$$

ここで、
 $F(\lambda) = (2/l) \{ \sin(\pi l / \lambda) - (1/L) \sin(\pi L / \lambda) \}$ 、 $l = 0.24 \text{ m}$ 、 $L = 7.77 \text{ m}$

サービス指数PSIは、
 $PSI = 3.27 - 1.37(\log SV - 0.78) \quad \dots \dots (3) \quad (\text{アスファルト舗装に関して})$

で求められ、 $A(\lambda)$ と路面の凹凸 n - w - s 密度関数 $S(\lambda)$ とに、
 $A(\lambda) = (1/\lambda^2) S(1/\lambda)$ の関係があることにより、PSIが算出される。先に示した実測路面の凹凸 n - w - s 密度関数からPSIを求めたものを図-6に示す。

筆者らがこれまでに行った路面凹凸ハザードのタイプ、路面の性状、測定者の走行速度等を含めてPSI値を示したのが表-1である。

AASHOでは、PSIが1.5に達したときをアスファルト舗装の破壊と判断していることを考慮すると冬期路面の悪路状況が推察される。

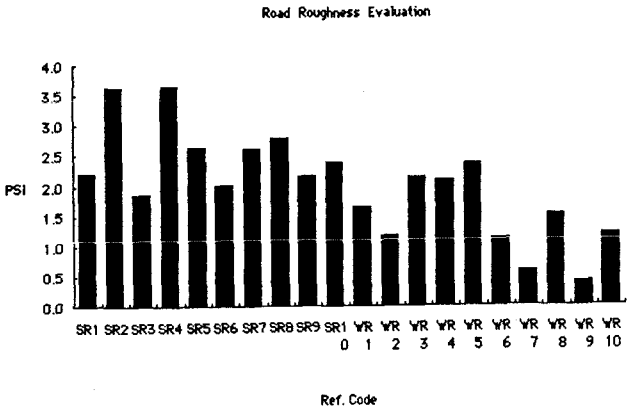


図-6 実路面のサービス指数

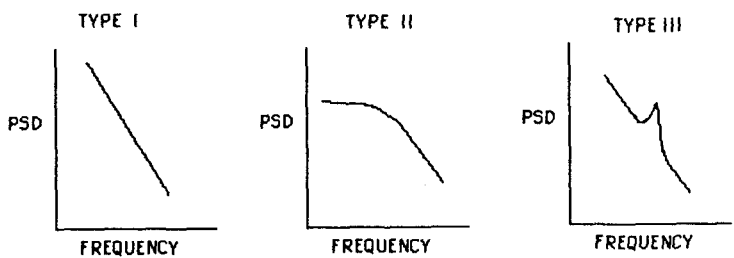


図-7 路面の凹凸ハザード形状のタイプ

表-1 サービス指数と路面状況

Ref. Code	PSI Value	Speed (km/h)	Type	Note
SR1	2.2	40	I	Manhole, vehicle rolling
SR2	3.6	40	I	Extremely smooth
SR3	1.9	40	I	Irregular surface, vehicle pitching
SR4	3.6	50	III	Bridge
SR5	2.6	40	I	Intersection
SR6	2.0	40	I	
SR7	2.6	40	I	
SR8	2.8	40	III	Relatively smooth
SR9	2.2	30	III	Underpass
SR10	2.4	40	III	Pitched bituminous overlay, vehicle rolling
WR1	1.6	30	I	
WR2	1.2	20	II	
WR3	2.2	40	I	Compacted snow surface
WR4	2.1	50	III	Compacted snow surface
WR5	2.4	50	I	Compacted snow surface
WR6	1.1	20	III	Cul-de-sac, vehicle rolling
WR7	0.6	20	II	Slushy, extremely rough, vehicle bouncing
WR8	1.5	30	I	Rutted surface
WR9	0.4	20	II	Rutted surface
WR10	1.2	20	I	Slushy, extremely rough, vehicle bouncing

次に、ISOで提案している路面の凹凸 σ^2_{rms} 関数からPSIを求め、路面の平滑性を示す指標である(1)の $S(n_0)$ とPSIとの相関について示したのが図-8であり、ISOで提案している評価基準のD、Eにおいては供用性面から σ^2_{rms} を行なう必要があることなどがわかる。

4. あとがき

本研究においては、当初に述べた車-人-道路系のうち主として人-道路系に関する乗心地評価に関し、P. I. 及び供用性面から考察を行ない幾つかの知見を得た。

筆者らはほかに、車-道路系、人-車系に関しても検討を行っており、この点に関して別の機会に発表を行なう予定である。

尚、本研究の一部は昭和60年度の文部省科学研究費（奨励研究A）の助成を受けた研究であることを付記する。

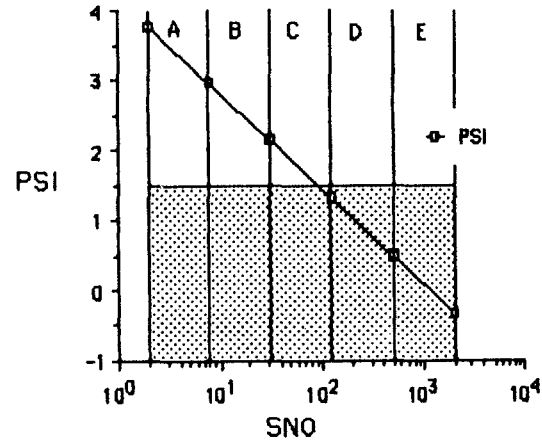


図-8 路面の平滑性とサービス指数

参考文献

- 1) A.Kawamura and T.kaku: Some aspects on road irregularity and vehicle dynamics, Universities Transport Study Group 論文集, Great Britain, 1983
- 2) A.Kawamura and T.kaku: An evaluation of road roughness and the effects on riding comfort and vehicle dynamics, Proc. of JSCE No.359/IV-2,1985
- 3) R.N.Janeway: Human vibration tolerance criteria and applications to ride evaluation, SAE Paper 750166,1975
- 4) ISO/TC108: Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration, ISO 2631-1978(E)
- 5) R.A.Lee and F.Pradko: Analytical analysis of human vibration, SAE Paper 680091,1968
- 6) ISO: Proposals for generalized road inputs to vehicles, ISO/DIS 2631, 1972
- 7) Highway Research Record: The AASHO Road Test, HRB Special Report 61-E, 1962
- 8) R.Stenschke: Abhängigkeit des subjektiv empfundenen fahrcomferts und den dynamischen radlasten von strassenunebenheiten, Fortschritte der V.D.I. Zeitschriften, Vol.12, No.32, 1978