

歩道路面の凹凸による車椅子の振動評価に関する研究*

The Research Of Vibration Of Wheelchair Caused By The Rough Road Surface Of Sidewalk

藤原 優** 國井 崇浩*** 壇 和喜**** 角 知憲*****

Yu Fujiwara* Takahiro KUNII*** Kazuki DAN**** Tomonori SUMI*****

1. はじめに

車椅子利用者が道路を走行するときの障害としては狭い幅員の歩道、放置自転車・電柱等の支障物件、横断勾配、段差、歩道から車道へのすりつけ勾配など多数挙げることができる。本研究では、歩道路面に多く使用されているタイルの凹凸により車椅子に生じる振動について考える。

参考文献¹⁾によると、利用者の受ける振動感覚は、神経系の損傷に関係する「しびれ」と呼ばれる感覚と、体を揺さられる場合の「内臓共振」とであると疑われている感覚の2つがあり、それぞれに対する振動レベル、評価は、シート下の振動加速度レベルを体感補正した体感振動加速度レベルから求められる。

本研究は、それらの評価関数に入力する、車椅子のシート下の振動加速度スペクトルを歩道のタイル路面の不整から計算する方法を考えるものである。

参考文献¹⁾によると、タイル路面通過時の動的挙動を計算するのに、人体と車椅子を一体としたものを7つの部分に区切って考えた車椅子振動モデル(図-1)を用いる。車輪が路面の変位と1点接触を保つとした路面の変位を「長周波の凹凸」とし、車輪が路面の変位と2点接触を起こす場合をここでは「目地との衝突」と考え、分けて取り扱う。両方法で求めた振動加速度スペクトルをあわせたものが、求める振動加速度スペクトルである。

2. モデルと計算方法

(1)「長周波の凹凸」による振動

図-1のモデルより、運動方程式は、

$$[M]\{X\} + [C]\{X\} + [K]\{X\} = [F(t)] \quad \text{..... ①}$$

(1)式をフーリエ変換して周波数領域で表すと、

$$\{X(\omega)\} = [H(\omega)]\{F(\omega)\} \quad \text{..... ②}$$

$$[H(\omega)] = -\omega^2[M] + i\omega[C] + [K]$$

ここに、

[M]: 質量行列 [C]: 減衰行列

[K]: 剛性行列 {X}: 変位行列

[H(ω)]: 周波数応答関数

[]: 7×7行列 { }: 7×1行列 とする。

また[F(t)]は前輪での路面変位 $h_1(x)$ から次のように与えられる。ここに($t=x/(\text{車椅子の速度})$)、 t_1 は後輪の前輪に対する時間遅れである。

$$\begin{aligned} \{F(t)\} &= \{k_1 h_1(t) + c_2 h_1(t), \\ &\quad k_2 h_1(t-t_1) + c_2 h_1(t-t_1), 0, \dots, 0\}^T \\ \{F(\omega)\} &= \{(k_1 + i\omega c_1) h_1(\omega) e^{i\omega t}, \\ &\quad (k_2 + i\omega c_2) h_1(\omega) e^{i\omega(t-t_1)}, 0, \dots, 0\}^T \end{aligned}$$

②式に $-\omega^2$ をかけて、振動加速度スペクトル $\{\alpha(\omega)\}$ を求めると、

$$\{\alpha(\omega)\} = -\omega^2 [H(\omega)] \{F(\omega)\}$$

である。

(2)「目地との衝突」による振動

モデルの運動方程式は、①式と異なる。この場合[F(ω)]は、車輪がメジと衝突した時に車輪が受ける力となる。

まず、1つのメジが、前輪、後輪に一回ずつ衝突する事から車椅子に生じる振動加速度スペクトルを求める。

前輪について考える。前輪路面の速度を v 、前輪

*キーワード: 交通運用管理, 景観・空間計画

** 学生会員, 工修 九州大学工学部建設都市工学科

(〒812-0053 福岡市東区箱崎2-13-21-103 TEL092-631-2250)

*** 正会員 奥村組

**** 正会員 九州大学工学部建設都市工学科 技官

***** 正会員 工博 九州大学工学部建設都市工学科 教授

がタイルの角に衝突する速度を v_0 、前輪の目地反力
による応答を $v_\omega(t)$ とすると $v=v_0-v_\omega(t)$ とおける。

v_0 をステップ関数とみすと、この式は、

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} v(\omega) e^{i\omega t} d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{v_0}{i\omega} e^{i\omega t} d\omega - \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} i\omega H_T(\omega) F_1(\omega) e^{i\omega t} d\omega \dots \textcircled{3}$$

と表せる。ここで、 $H_{11}(\omega)$ を $[H(\omega)]$ の 1 行 1 列の値、

K_l を前輪タイヤのバネ定数とすると、

$$H_T(\omega) = H_{11}(\omega) + K_l$$

となり、③式は、

$$v(\omega) = \frac{v_0}{i\omega} - i\omega H_T(\omega) F_1(\omega)$$

とできる。路面のバネ定数を K_R とすると、

$$v(\omega) = \frac{i\omega}{K_R} F_1(\omega)$$

となり、これを上式に代入すると、

$$F_1(\omega) = \frac{1}{-\omega^2} \left(\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_R} + H_{11}(\omega) \right)^{-1} v_0$$

となる。ここで、単位時間の走行距離に存在する目
地の数を N とすると、上式より次式が求まる、

$$F_1(\omega) = \frac{1}{-\omega^2} \left(\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_R} + H_{11}(\omega) \right)^{-1} \sum_{j=1}^N v_{0j} e^{i\omega t}$$

後輪の場合、後輪の前輪に対する時間遅れ、半径比
を考慮して同様に考える。 R_1 は前輪の半径、 R_2 は後
輪の半径とすると、

$$F_2(\omega) = \frac{1}{-\omega^2} \left(\frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_R} + H_{22}(\omega) \right)^{-1} \sum_{j=1}^N \frac{R_1}{R_2} e^{i\omega t} v_{0j}$$

となる。

前輪、後輪の振動加速度スペクトルをそれぞれ $\{\alpha_1(\omega)\}$ 、 $\{\alpha_2(\omega)\}$ とすると、

$$\{\alpha_1(\omega)\} = -\omega^2 [H(\omega)] \{F(\omega)\}$$

ここで、 $\{F(\omega)\} = [F_1(\omega), 0, \dots, 0]^T$ である。

後輪の場合も同様に求めることができる。よって求
める振動加速度スペクトルは、

$$\{\alpha(\omega)\} = \{\alpha_1(\omega)\} + \{\alpha_2(\omega)\}$$

となる。

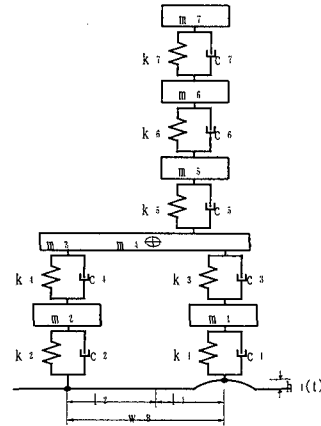


図-1. 車椅子振動モデル

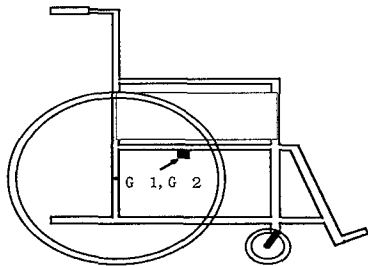
表-1. モデルの諸元と解析に用いた値

記号	単位	意味
m_1	kg	前軸ばね下質量(0.54kg)
m_2	kg	後軸ばね下質量(4.3kg)
m_3	kg	ばね上質量(16.0kg)
m_4	kg・m ²	ピッチングモーメント(0.576kg・m ²)
m_5	kg	シートと腰の質量(20.6kg)
m_6	kg	胸・腹の質量(27.6kg)
m_7	kg	頭の質量(3.5kg)
k_1	N/m	前軸ばね下のばね係数(300000N/m)
k_2	N/m	後軸ばね下のばね係数(120000N/m)
k_3	N/m	前軸ばね上のばね係数(800000N/m)
k_4	N/m	後軸ばね上のばね係数(800000N/m)
k_5	N/m	座席のばね係数(65333N/m)
k_6	N/m	腰と腹のばね係数(26620N/m)
k_7	N/m	肩と頭のばね係数(5523N/m)
l_1	m	車体重心から前軸までの距離(0.25m)
l_2	m	車体重心から後軸までの距離(0.146m)
w_B	m	ホイールベース (= $l_1 + l_2$)
c_1	NS/m	前軸ばね下の減衰係数(80NS/m)
c_2	NS/m	後軸ばね下の減衰係数(140NS/m)
c_3	NS/m	前軸ばね上の減衰係数(1500NS/m)
c_4	NS/m	後軸ばね上の減衰係数(1500NS/m)
c_5	NS/m	座席の減衰係数(928NS/m)
c_6	NS/m	腰と腹の減衰係数(170NS/m)
c_7	NS/m	肩と頭の減衰係数(87NS/m)
h_1	m	前軸位置における路面の変位
h_2	m	後軸位置における路面の変位

3. 車椅子の振動の測定

モデルの信頼性を確かめる為に、実際に車椅子が
タイル張りの路面を走行するときの、振動加速度ス
ペクトルを測定し、前述の解析方法で求めたもの
との比較を試みる。解析値と実測値が許容誤差内
であれば、本研究で提案するモデルにより、タイル
形状から車椅子に発生する振動加速度スペクトル
を求めることができる。これよりタイル幅、目地幅
の変化が振動加速度スペクトルにどのように影響
するかを調べることが可能となる。

車椅子の振動の計測はタイル幅9×9cm, 目地幅1cm
の路面(図-1の路面A)について行った。被験者は、
体重62kgの男子学生であった。図-2に示すよう
に、シート下に圧電式加速度計を取り付け車椅子
が路面を0.7(m/s)で3.7(m)の距離を走行する
ときの振動を測定した。また解析に用いるバネ定
数等の値を測定した。(表-1)



G1,G2: 圧電式加速度計

図-2 測点配置

4. 実測値と計算値の比較

実測により得られた車椅子のシート下の振動加速
度スペクトルと本研究で提案した解析方法により求
められる計算値との比較を 1/3 オクターブバンドス

ペクトル表示したグラフで行う。

図-3 は路面Aについて実験値と解析値を比較した
ものである。ピークの位置は少しズレがあるが、計
算値は実測値と比較的一致していると考えられる。
オーバーオール値も計算値は、0.116G, 実測値は
0.139G と近い値で、計算値を体感補正し、評価関数
を用いて評価を求める事に問題はない。

(1) タイル形状ごとの比較

図-3の結果からタイルの形状、目地幅の変化が振

表-2 研究に利用したタイル

路面	ブロック幅(cm)	目地幅(cm)
A	9.0	1.0
B	9.0	1.5
C	21.0	1.0
D	30.0	0.5

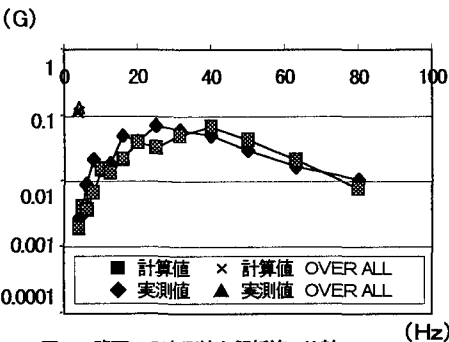


図-3 路面Aの実測値と解析値の比較

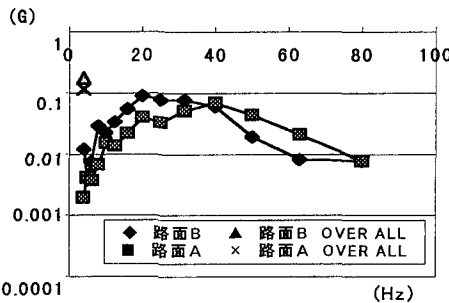


図-4 路面BとAの解析値の比較

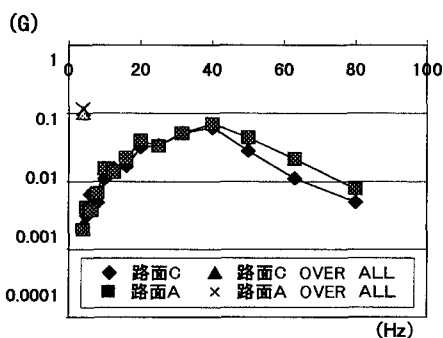


図-5 路面CとAの解析値の比較

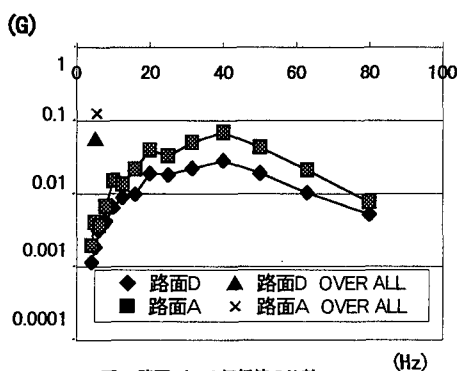


図-6 路面DとAの解析値の比較

振動加速度スペクトルにどのように影響するかを計算値で比較することができるといえる。

そこで、先に求めた路面Aの計算値を基準にして、表-2の路面B、C、Dから求めた計算値と比較する。

路面Aと路面Bとはメジ幅の大きさが異なり、路面Cとはタイル幅が異なり、路面Dとはその両方とも異なる。

(2) タイル形状ごとの比較の結果と考察

(a) 路面Bと路面Aの比較 (図-4)

両者はタイル幅が同じサイズであるが、目地幅が異なる。オーバーオール値をみると、目地幅の大きな路面Bのほうが大きい値となっている。これは、目地幅が大きくなるほど、車椅子の車輪がタイルの角に衝突するときの速度が大きくなることが原因で

あると考えられる。

(b) 路面Cと路面Aの比較 (図-5)

この場合は、目地幅が同じでタイル幅が異なっている。オーバーオールは、ほとんど同じような値だが、ブロック幅の小さな路面Aのほうが、やや大きい値となっている。これはタイル幅の小さい方が大きいタイルよりも同じ測定区間で振動スペクトルを求めた場合、目地部分で車輪のタイルへの衝突回数が多いことが原因であると考えられる。

(b) 路面Dと路面Aの比較 (図-6)

今度は、タイル幅、目地幅ともに異なるケースを考える。メジ幅が大きく、タイル幅の小さい路面Aのほうが、かなり大きい値となっている。前述の二つの影響が大きく影響しているといえる。

この3つの結果より、メジ幅が大きく、タイル幅の小さな路面のほうが大きな車椅子振動を生じさせるのではないかと考えられる。

5. 結論

- (1) 本研究では、ブロック舗装路面を車椅子が走行する時に生じる振動を路面の形状から求めることができた。
- (2) ブロック幅が小さく、メジ幅の大きいブロック舗装ほど車椅子利用者にとってより不快な振動を生じさせる傾向があることがわかった。
- (3) 車椅子振動モデルをもっと色々な種類のブロック舗装路面に適用して、それぞれの路面が車椅子利用者を与える振動の特性を求める必要がある。

〈参考文献〉

- 1) 石田千加志 : 車椅子利用者の道路平滑度評価に関する基礎的研究 (九州大学工学部修士論文)
- 2) 日野 幹雄 “スペクトル解析” 朝倉書院
- 3) 小坪 清真 “土木振動学” 森北出版