

振動特性に着目した自転車走行空間の評価*

Evaluation of cycling space considering vibration characteristic*

山中 英生**・ 兼本 広和***・滑川 達****

By Hideo YAMANAKA**・Hirokazu KANEMOTO***・Susumu NAMERIKAWA****

1. はじめに

都市交通手段としての自転車の活用が注目され、自転車走行空間の整備が重点施策として進められている。この中では、我が国の大半を占める自転車走行空間である自歩道や細街路などの共有利用空間において自転車に快適な走行環境を確保することが重要な施策の一つといえる。こうした共有利用空間の多くをしめる歩道や維持管理が行き届かない細街路においては、歩行者や自動車との錯綜問題に加えて、路面状況の悪化現象が見られる。このため、段差や振動に影響を受けやすい自転車にとっては良好とは言えないといった問題が生じている。このことは、自転車だけの問題でなく、車いすや電動三輪車などの多様な補助手段を利用する道路空間として、バリアフリー化促進上の課題として重要となってくると言える。このような視点から、車いすの路面による振動特性とその評価についてはいくつかの研究成果^{1) 2)}が見られる。ただし、自転車についての研究は競技用自転車との比較³⁾などの研究が見られる程度である。

本研究は、自転車空間の改善地点の抽出や施策効果を把握するため、広範囲を効率的に評価可能な手法の開発を目的としている、具体的には自動計測可能な三次元加速度計、GPS、デジタル速度計、トルク計測計を搭載した自転車（プローブバイク）を開発し、走行時に計測した指標と走行被験者の体感評価値との関連分析を用いて、走行空間を評価する方法を開発するものである。従来の研究において、簡易な加速度計

Keywords: 自転車交通, 自歩道, 細街路, 評価

**正会員 工博 徳島大学工学部 教授

***学生員 徳島大学大学院工学研究科建設工学専攻

****正会員 徳島大学工学部

(〒770 8506 徳島県徳島市南常三島2 1

TEL: 088 656 7578, FAX: 088 656 7579)

と速度計を用いた分析⁴⁾では、路面評価および走行快適性評価が区間内最大鉛直加速度や速度分散が快適性に影響することを明らかにしている。

本稿では、路面評価と走行快適性に関する体感指標の要因として、3次元加速度計による計測結果から求めた振動加速度レベルおよび周波数帯域別のパワーレベルに着目して分析を行った。

2. プローブバイクの開発

自転車空間評価においては、歩行者との混在空間であることの考慮が必要であり、特にそうした空間での路面性状の課題が重要な要因となる可能性がある。つまり、自転車走行環境に影響を与える主要な項目として振動、速度、走行抵抗、交通錯綜などが考えられる。

そこで振動加速度を計測する3次元加速度計、速度・トルク計測計、連続した位置情報を計測するハンディGPS、走行位置の確認、錯綜状況の分析に用いるビデオカメラを設置した自転車を製作した。

3次元加速度計は2種を用意している、Aタイプはアナログ・デバイセズ社製ADXL202センサーを用いたもので、 $\pm 2G$ レンジでサンプリング30Hzの連続計測をし、CFメモリーに記憶できるものである。連続30時間程度の計測が可能となっている。Bタイプは、同一メーカーのセンサーICを用いているが、サンプリングが500Hzとなっており、鉛直方向については同社ADXL210を用いて $\pm 10G$ まで計測できるよう改良していたものである。

速度トルク計はCycleOps社のPower-Tapと呼ばれる市販品で自転車トレーニング用に速度、トルク、ケイデンス（ペダル回転数）、延べ走行距離を記録することができる。それぞれの指標を1.23秒ごとに計測し、小型コンピュータに記憶することが可能で、連続計測可能な時間は約3時間である。ハンディGPSはGa

rmin社製e-Trexおよび専用データロガーを用いた。ロガーは2秒間隔で約100時間分の位置情報を記録することができるが、GPSのバッテリーの関係で連続使用可能時間は約24時間となっている。



3. 走行実験と分析指標

徳島市内の道路交通状況の異なる自歩道、細街路を選出した。この区間の特性を表1に示す。

自歩道は全体で21区間、幅員が5.5mから1.5mでブロック舗装12区間とアスファルト舗装9区間があり、ブロック舗装の区間には自転車と歩行者の通行帯を区分している4区間が含まれている。細街路は1.5mから8mの16区間となっている。図2に観測対象とした自歩道、細街路の例を示す。

走行実験は、数区間を巡回するルートを作り、3人の被験者（すべて学生）が3周ずつ走行し、速度変化および振動状況を区間走行回ごとに計測して整理した。また、同時に路面および走行状況の評価を、区間を走行中に体感指標としてビデオに音声で吹き込むプロトコル調査を実施した。このうち、ここでは体感指標として、路面不快度と走行環境総合を5段階評価（大変不快～大変快適）した結果を用いた、また、500Hz加速度計Bによる計測については、被験者1人が2回づつ全区間を走行した結果を用いる。



GPS

Power-TAP



図1 プローブバイク

表1 走行観測区間の特性

種別	幅員		4m以上		3m~4m		2m~3m	2m未満	計
	自転車通行帯		有	無	有	無	無	無	
自歩道	ブロック舗装		3	2	1	3	1	2	12
	アスファルト舗装		0	0	0	2	6	1	9
細街路	幅員		7m以上		5m~7m		4m~5m	4m未満	
	アスファルト舗装		4		4		4	4	16

図3は路面に対する体感指標の区間別集計を示している。このように区間によって明らかに路面状態の評価が異なっている。



ブロック舗装自歩道



アスファルト舗装自歩道



細街路

図2 計測対象区間の例

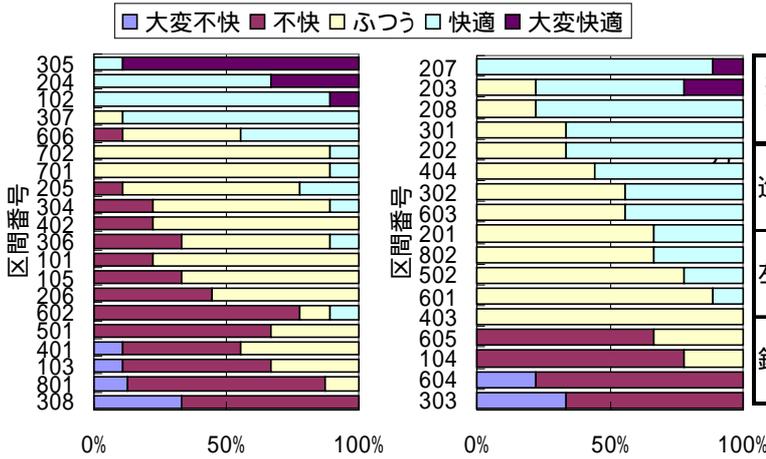


図3 区間別の路面に対する体感評価

4. 振動レベル区間代表値と体感指標の関係

走行時の振動指標として、30Hz加速度計Bによる振動加速度レベルから走行回別の時間率レベル値(L₅₀・L₁₀・L₅)を算出し、体感評価との関連を分析した。

振動加速度レベルは次式で定義した値でデシベル(dB)で表わされる。

$$\text{振動加速度レベル} = 20 \log_{10} (a / a_0)$$

ここで a₀は基準の振動加速度で 10⁻⁵ m / s²

aは測定振動加速度の実効値

なお、30Hzの低サンプリング測定値のため周波数感覚補正のない振動加速度レベルを用いた。時間率レベル値L_xは測定時間内に値L_xを超えている時間が実測時間の x %を占めることを示す。

表 2は、全計測回数(3人×3回×37区間)をデータとして、路面評価、走行時の総合評価(各5水準)と、計測区間における時間率レベル値(L₅₀・L₁₀・L₅)との関連を一元配置分析した結果を示す。これによると、体感評価の相違を説明する指標としては、鉛直方向振動が最も重要で、ついで進行方向、左右方向となっている。また、時間中央値(L₅₀)よりもピーク値(L₅)が説明力は高いといえる。路面の状態に対する評価と走行時の総合評価とは同じ傾向を示している。

図4は体感指標のレベルごとに、振動加速度レベルL₅の平均値と標準偏差を示した結果である。路面の評価では鉛直方向加速度振動レベルL₅で90dBを越えると不快、走行時の総合評価でも鉛直方向加速度振動レベルL₅で90dBを越えると不快となることが分かる。進行方向の加速度振動レベルL₅では80dB程度が不快となる限度と言える。ただし、今回使用した3軸加速度計は振

図3 路面評価と振動加速度レベルの関係

振動方向	振動指標	路面評価の体感レベルとの関連		走行性総合評価の体感レベルとの関連	
		F値	有意確率	F値	有意確率
進行	L ₅₀	3.5	0.0080	4.7	0.0011
	L ₁₀	10.6	0.0000	10.8	0.0000
	L ₅	14.1	0.0000	14.0	0.0000
左右	L ₅₀	1.3	0.2694	2.4	0.0484
	L ₁₀	5.0	0.0007	7.1	0.0000
	L ₅	5.0	0.0007	7.5	0.0000
鉛直	L ₅₀	9.7	0.0000	8.7	0.0000
	L ₁₀	18.8	0.0000	16.5	0.0000
	L ₅	22.1	0.0000	17.1	0.0000

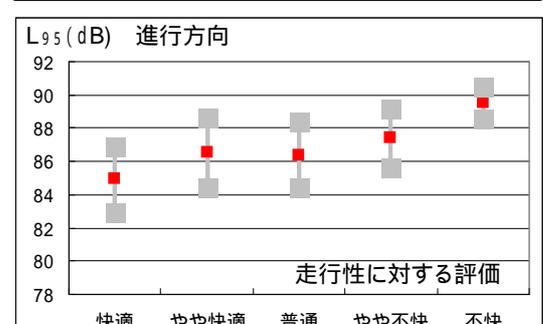
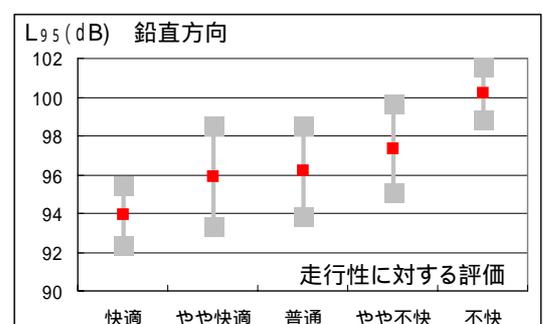
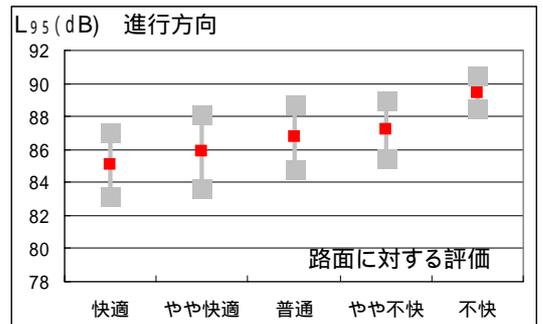
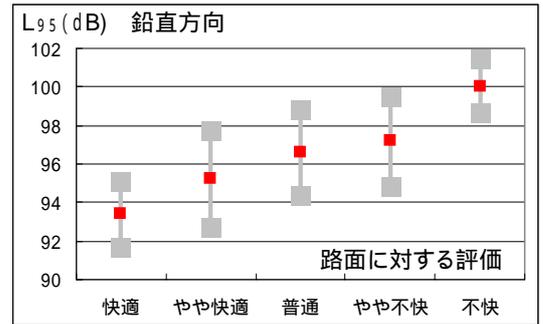


図4 体感評価水準別と振動加速度レベル分布

動計測の規格適用ではないので、一般的な振動評価の指標との比較はできないことに留意する必要がある。

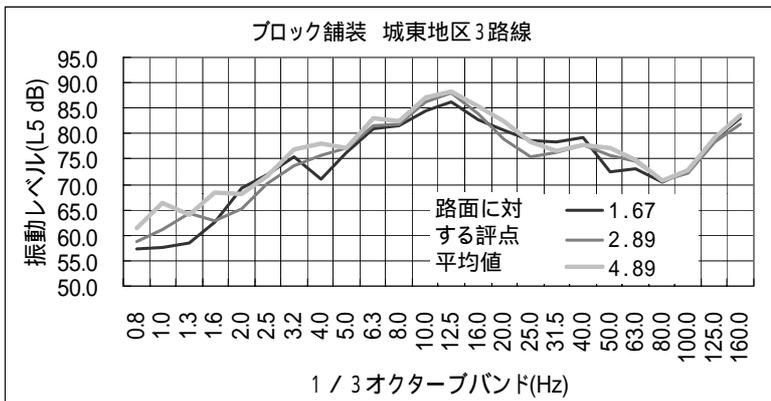


図5 ブロック舗装 オクターブバンド振動レベル分布の例

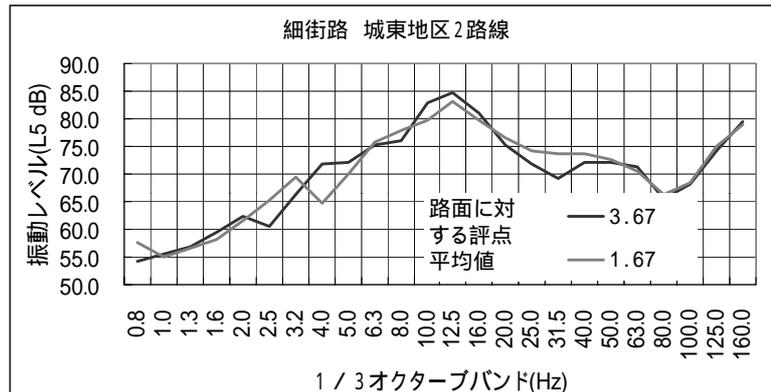


図6 細街路 オクターブバンド振動レベル分布の例

5. 振動レベル区間代表値と体感指標の関係

次に、周波数による影響を分析するため、500Hz加速度計の計測結果を用いて分析した。図5、6は、城東地区のブロック舗装区間、細街路別に路面評価の異なる区間の1/3オクターブバンドの振動レベル(L₅)を示している。これも周波数感覚差を考慮しない振動感覚補正(JIS C1510-1995 平坦特性)を用いている。路面評価は5段階評点(1-5)の9回分(3人3回)の平均値で、評価がよいほど数値は大きくなる。これによると、ブロック舗装・細街路とも周波数帯域では12.5Hz帯域と160Hz帯域にピークが存在するが、ブロック舗装では、評価の悪い舗装と良い舗装の違いは、4Hz帯域および25Hzから31.5Hz帯域に見られる。細街路の場合は、31.5Hz帯域、3.2Hzのレベル変化が評価順序と一致している。また、オクターブバンドレベル値と路面および走行時の評点平均値との相関係数を算出した結果を図7に示す。ブロック細腕では4Hz帯域や10Hz帯域、細街路では4Hz帯域の振動レベルが体感指標と強く関連していると言える。

空間整備のためには、舗装材や段差等の舗装特性とこうした周波数特性の関連把握を進める必要がある。

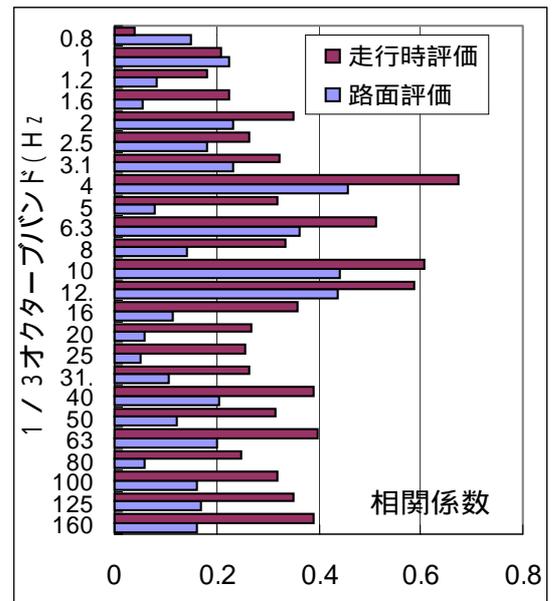


図7 オクターブバンドレベルと体感評価の相関(ブロック舗装)

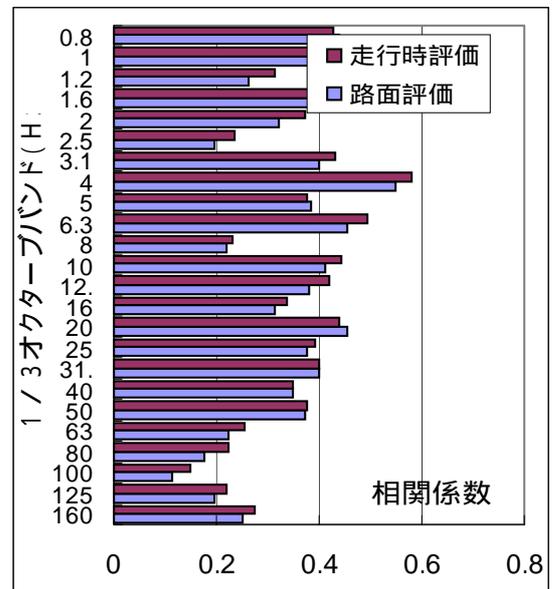


図8 オクターブバンドレベルと体感評価の相関(細街路)

参考文献

- 1) 高戸仁郎, 藤井元, 田内雅見: 車椅子走行時の路面凹凸により発生する振動とその主観的評価, 人間工学, 第33巻, 特別号, pp.302~303, 1997
- 2) 米川裕毅, 相原弘武, 松岡由幸: 車椅子車載システムにおける振動と乗心地評価の関連性, デザイン学研究, Vol.47, No.1, pp.57~65, 2000
- 3) 斉藤俊, 千葉洋三: 自転車走行時の振動特性(ロードレース車と一般車の振動特性の比較), 自転車技術情報, No.70, pp.92~106, 1996
- 4) 山中 英生, 土岐 源水, 二神 彩, 亀谷 一洋: プロローバイシクルを用いた自転車利用環境の評価, 土木計画学研究・講演集, Vol.26, 2002