自転車の乗り心地向上に関する一考察

○学 川越 信幸(阪工大院), 学 河村 智博(阪工大), 正 吉田 準史(阪工大)

A Consideration for Improvement of Ride Comfort of a Bicycle

Nobuyuki KAWAGOE, Tomohiro KAWAMURA and Junji YOSHIDA

Department of Mechanical Engineering, Osaka Institute of Technology
16-1, Omiya 5-chome, Asahi-ku, Osaka, 535-8585, Japan

A bicycle is a popular vehicle for a lot of people by the low price and the easy maintenance in comparison with a car and a motorcycle. In order to expand the popularity of the bicycle, improvement of the ride comfort is necessary. In this study, to improve the ride comfort of a utility bicycle, subjective evaluation tests and acceleration measurements were performed. In the subjective evaluation test, the vibration feeling of the seat and the ride comfort of bicycles were evaluated by using five kinds of bicycle. And the vibration accelerations of the seats were measured and frequency analysis was performed to obtain which frequency band has high contribution to the ride comfort. As a result, low frequency vibration of the seat was clarified to have high contribution to the ride comfort. Next, the seat vibration reduction was tried. For decrease of the seat vibration, the spring rate of the seat was reduced. As results, the acceleration level was decreased in the running test and the ride comfort was improved.

Key Words : Seat Vibration, Vibration Feeling, Ride Comfort, Natural Frequency, Vibration of Moving Body

1. はじめに

自動車や電車など様々な交通手段の中で、自転車は多くの人々にとって、価格や維持費、サイズなどから最も身近な乗り物の一つであり、日常生活では欠かすことのできない移動手段である。さらに近年、自動車やオートバイなどの排気ガスによる環境問題が注目される中、自転車は動力源が人間であり、化石燃料を用いない、ということからも環境負荷が少なく、環境にもやさしい移動手段でもある。この自転車を、より安全に、そして運転しやすくすることは、自転車の今後の発展のためだけに留まらず、環境問題やエネルギー問題を考慮した移動手段のさらなる普及のために有意義である。安全で乗りやすい自転車を実現するには、安定して走行できることや、少ない力で効率よく走行できることなどがあげられるが、乗り心地が良いことなども重要な項目のひとつである。乗り心地の良い自転車を検討するためには、走行状態において乗り心地に影響の高い部位や周波数帯域を把握した上で振動を改善することが必要となる。しかしながら、現在までに、自動車やオートバイ、船舶などの乗り心地に関する研究^{(1)~(6)}は数多くなされているものの、自転車の乗り心地について研究された事例は少ない。

そこで、本研究では、自転車の乗り心地向上を目指し、自転車と人と接触している主要部位であるサドル振動が、自転車の乗り心地にどのように影響を及ぼしているのか、ということを経験による乗り心地官能評価実験を通じて調査する。さらに、乗り心地に影響を及ぼしている問題周波数帯域についても振動測定実験を通じて明らかにし、加振実験によって得られる自転車の構造振動特性と官能評価実験結果から、自転車の乗り心地改善を行なうことを最終的な目標とする。

2. 自転車サドルの乗り心地への影響

2・1 官能評価実験

本研究ではまず、人が自転車に乗ったときのサドルの振動感覚と乗り心地感覚との関連性を把握するため、数種類の自転車に試乗し、そのサドル振動感と乗り心地感覚を評価する官能評価実験を行なった。官能評価実験において、評価対象となる自転車はシティサイクル 1 (Utility bike 1)、シティサイクル 2 (Utility bike 2)、ロードバイク (Road bike)、マウンテンバイク (Mountain bike 1)、サスペンション付きのマウンテンバイク 2 (Mountain bike 2) の 5 種類である。なお、シティサイクル 2 はハンドル、サドルの形状をシティサイクル 1 から変更したものである。実験参加者は、20 代の学生 8 名 (男性 6 名、女性 2 名)、評価項目はサドルの振動感覚及び総合的な乗り心地の 2 項目、評価法はシェッフェの一对比較法を用い、自転車走行速度は約 10 km/h、走行距離は約 0.8 km、タイヤ空気圧は 4 気圧の条件において実験参加者は着座状態で走行し、評価実験を行なった。

実験参加者はまず、評価基準車となるシティサイクル 1 を試乗し、次に評価対象となるいずれかの自転車を試乗する。二種類の自転車に試乗後、参加者はサドルの振動感覚及び総合的な乗り心地が基準車と比較してどのように感じたかを評価シートに記入した。評価シートの回答方法については、サドル振動感の評価の場合、「変わらない」を 0 とし、「振動が非常に大きいと思う」を +6、「振動が非常に小さいと思う」を -6 とし、13 段階で評価した。総合的な乗り心地評価の場合は「普通」を 0 とし、「非常に不快」を +6、「とても快適」を -6 とし 13 段階で評価した。

各被験者における各自転車へのサドル振動感および乗り心地評価の結果を全被験者間で平均した結果を表 1 に示す。なお、本評価実験では、評価法にシェッフェの一对比較法を採用しており、シティサイクル 1 を基準に評価対象となる自転車の評価を比較形式で実施しているため、シティサイクル 1 の評価結果はサドル振動感評価、乗り心地評価いずれの場合においても全て 0 となる。

Table 1 Evaluation results

	Seat	Ride comfort
Utility bike 1	0.00	0.00
Utility bike 2	0.75	0.75
Mountain bike 1	1.25	1.00
Mountain bike 2	-3.13	-1.88
Road bike	2.38	0.75

この結果から、今回の試乗評価実験においてはマウンテンバイク 2 が、サドルの振動感が最も小さく、また乗り心地も最良と評価されていたことがわかる。以下に、サドルの振動感と乗り心地評価結果の相関性を示す (図 1)。

Fig. 1 Correlation between vibration feeling of seat and ride comfort

この結果より、サドル振動感が小さいほど乗り心地が良いと評価される傾向が高いことが明らかになった。また、サドル振動感と乗り心地評価結果の相関係数は 0.95 と非常に高く、サドル振動が乗り心地感覚に大きな影響を及ぼしていることも明らかになった。このことから、サドル振動を低減することによって、乗り心地を改善できるのではないかと考えられる。

2・2 実走実験

次にサドル振動において特に乗り心地への影響が大きい周波数帯域を明らかにするために、各自転車の実走行中の振動加速度レベルを測定した。振動測定では、官能評価実験で用いたコースの中で、被験者が特に基準車と評価対象とする自転車との間で振動の差を感じた場所を実験コースとして選んだ (図 2)。

Fig. 2 Test course

測定箇所はサドル下面、方向は上下とした。走行距離は 0.04 km 、走行速度は 10 km/h 、タイヤ空気圧は 4 気圧の条件で実験を行なった。

以上の条件にて各自転車実走行状態の振動加速度の時間信号を測定し、周波数分析を行なった結果から、特に官能評価実験結果より乗り心地評価の高かったマウンテンバイク 2 と基準車であったシティーサイクル 1 の振動加速度の比較を図 3 に示す。

Fig. 3 Acceleration level at running condition

図中横軸は周波数、縦軸は振動加速度レベルを示し、実線は乗り心地が最良と評価されたマウンテンバイク 2 の振動加速度、破線は基準車として用いたシティーサイクル 1 の振動加速度を示す。この図より乗り心地が最良およびサドル振動感が最小に感じられたマウンテンバイク 2 の振動加速度レベルは、基準車であるシティーサイクル 1 と比較した場合、全ての周波数帯域において振動加速度が小さいわけではなく、特に 20 Hz より低い周波数帯域における振動加速度レベルが小さいことがわかる。

このことから、自転車の乗り心地にはサドルの振動の影響が大きい、中でも特に 20 Hz よりも低周波域の振動加速度が小さいほど、乗り心地が良いと評価される傾向にある、ということが明らかになった。なお、この傾向は自動車やオートバイなど他の乗り物の乗り心地を定量化した先行研究結果とも同様の傾向を示していた(1)-(6)。

3. 乗り心地向上のためのサドルの構造変更

3・1 サドルの振動特性の把握

前章までの分析結果により低周波域のサドル振動を低減することにより、乗り心地の向上が図れることが明らかになった。このことより、本章では、低周波のサドル振動低減を目的に自転車の加振実験を通じてサドルの振動特性を把握した。本研究では、乗り心地改善対象の自転車を、価格面や運転のしやすさの面からも、より多くの人々が利用しているシティーサイクルとし、官能評価実験の基準車として選定したシティーサイクル 1 を加振実験の対象とした。加振実験の条件としては、入力点（加振点）を前輪タイヤ下部、あるいは後輪タイヤ下部のいずれかとし、応答点をサドル下面とした。また、加振方向、および応答計測方向はいずれも上下方向とし、人（約 65 kg）が自転車に乗車した状態で、フォークリフトと釣り糸により宙吊り状態にし、加振を行なった⁽⁷⁾。そのイメージ図を図 4 に示す。

Fig. 4 Hammering condition

加振実験時の乗車状況としては、通常の運転時のようにサドルに運転者が着座している状態（サドルに運転者の体重が付加されている状態）と立ち漕ぎの状態（サドルに体重が付加されない状態）の伝達関数を測定した。なお、このときいずれの状態においても足はペダル上にあり静止している。測定された伝達関数とコヒーレンスを図 5 に示す。

Fig. 5 Comparison of transfer function between sitting condition and standing condition in the hammering test

図 5(a)は前輪タイヤ下部を加振した場合の伝達関数を示し、図 5(b)はその場合のコヒーレンスを表す。また図中実線は着座状態の伝達関数であり、破線は立ち漕ぎ状態の伝達関数である。この結果より、通常の走行状態である着座状態の加振応答（シート下面位置）は、運転者の体重の影響により、立ち漕ぎ状態に比べ広い周波数帯域でレベルが大幅に低い。しかしながら、4 Hz 付近のみ、着座状態の方にピークが見られ、立ち漕ぎ状態よりも応答レベルが高いことがわかる。これは、運転者の体重を質量とし、サドル下部に設置されているスプリングをバネ要素としたバネ-マス系によって発生した共振（固有振動数）であると考えられる。このことから、低周波域（～20 Hz）の振動を下げるにはスプリングのバネレートを低下させることが有効であると考えられる。

3・2 サドルの構造変更による振動低減

前節でサドルの振動特性（サドル下スプリングによる固有振動数）が明らかになったので、ここでは実際にサドル振動の低減の実施を行なうため、サドルの構造変更を行なった。サドル下スプリングのばねレートを低下させるために、図 6 に示すようにばねの径を細くし、さらに前部は、スプリング支持されていなかったため、スポンジを挿入し、サドルのフローティング化を行なった。

Fig. 6 Seat modification

次に、このサドルを用いた場合の自転車振動特性を把握するために再度、加振実験を行ない、伝達関数を測定した。実験条件、分析条件は 3・1 節と同様である。

Fig. 7 Comparison of transfer function between standard bicycle and modified bicycle in the hammering test

図 7(a)中破線が変更前のサドル、実線が変更後のサドルを用いた場合の伝達関数である。この図より、4 Hz 付近にあった共振周波数が構造変更（シート下スプリングのフローティング化）により、1.5 Hz 付近まで低下し、その影響で 10～25 Hz 帯域の応答レベルが大幅に低減できていることが確認できた。

3・3 実走実験による振動低減の確認

加振実験を通じて、サドルの構造変更を行なうことによりサドル振動応答の低減が確認できたため次に、実走行状態における振動低減効果の確認を行なった。実験条件、分析条件は2・2節と同様である。測定結果を図8に示す。

Fig. 8 Comparison of the seat vibration between standard bicycle and modified bicycle in the running test

この結果から、サドルの構造変更を行なうことによって、20 Hz より低い周波数帯域の振動加速度レベルが低減していることがわかる。また、この周波数帯域は官能評価実験および実走振動実験の結果から、特に乗り心地に影響の高い周波数帯域であったため、サドルの構造変更による乗り心地の向上が期待できる結果である。

4. 乗り心地の検証実験

前節の結果から、サドル構造変更によって実走行時のサドル振動における低周波域の振動加速度レベル低減が確認されたため、本章では再度、サドルの構造変更後と構造変更前の自転車（シティーサイクル 1）に試乗し、官能評価実験を行なうことで、サドル振動感および乗り心地が実際に低下、向上しているのか、ということを検証した。試乗による官能評価実験に参加した人数は5名、走行コースは2章の官能評価実験で使用了コースの中でも比較的凹凸の多い区間（0.4 km）とし、それ以外の項目は2章の官能評価実験と同様である。官能評価実験の結果得られた各被験者のサドル振動感、乗り心地の評価結果を全被験者間で平均したものを図9に示す。

Fig. 9 Comparison of vibration feeling of seat and ride comfort between standard bicycle and modified bicycle

図9(a)はサドル振動感の比較、(b)は乗り心地の比較を表し、いずれの図においても値が小さい方が評価が良いことを表す。この結果より、サドル構造を変更し、振動低減を図った自転車（Modified bicycle）の方がサドル振動感が小さく、また乗り心地も向上していると評価されていることが確認された。

5. まとめ

本研究では、自転車と人と接触している主要部位の一つであるサドルの振動が、自転車の乗り心地にどの程度影響を及ぼしているのか、ということ进行调查し、乗り心地に影響を及ぼしている周波数を特定した上で、自転車の乗り心地の改善を行なうことを目的として実験、解析、検討を行なった。

その結果、官能評価実験を行なうことにより、サドル振動が、自転車の乗り心地に、大きな影響していることがわかり、特に 20 Hz 以下の低周波域のサドル振動が小さいほど、乗り心地が良いと評価されやすい、ということが明らかになった。

次に、加振実験により、サドルの振動特性を把握し、サドルの低振動化のための構造変更を行なったところ、実走実験における該当周波数帯の振動加速度レベルの低減が確認できた。

サドルの構造変更による振動低減が確認できたので、その乗り心地への効果を確認するため再度、官能評価実験を行なったところ、実際に構造変更のサドルを用いた自転車の乗り心地が改善されていることがわかった。

以上のことより、本研究で行なった評価、分析を通じてサドルの構造変更による自転車の乗り心地改善が実現できた。

文 献

- (1) 小谷野光江, 小原健史, 竹内務, 横井元治, “二輪車シートの乗り心地評価手法の確立”, *Honda R&D Technical Review*, Vol.19 No.2, (2007), pp. 117-122.
- (2) 小泉孝之, 辻内伸好, 阿部洋志, 二宮次郎, 山崎浩二, “人体振動特性を考慮した乗り心地性能向上のための評価法確立”, *Dynamics & Design Conference 2007*, (149), (2007), pp. 1-5.
- (3) 小泉孝之, 辻内伸好, 田中周, “振動入力に対する自動二輪車の乗り心地と安定性の検討(運動・計測・感性)” ジョイント・シンポジウム講演論文集, *Symposium on sports engineering, Symposium on human dynamics 2004*, (2004), pp. 236-241,
- (4) 池田良穂, 重廣律男, “船舶の乗り心地評価法”, 関西造船協会, 纜 (20), (1993), pp. 17-22.
- (5) 赤津洋介, “乗心地評価手法の開発”, 自動車技術 52(3), (1998), pp. 47-52.
- (6) 小泉孝之, 辻内伸好, 奥村壮互, 二宮次郎, 山田幸子, “低周波における自動車の乗り心地評価手法の提案”, *Dynamics & Design Conference 2009*, (419), (2009), pp. 1-5.
- (7) 川越信幸, 吉田準史, “自転車振動低減のための加振方法の検討”, *Dynamics & Design Conference 2010*, (208), (2010), pp. 1-5.