

車体振動に対するばね下重量の効果

1班11 近藤 貴之

1. はじめに

自動車を高性能化するにあたり、軽量化は性能向上に大きく寄与する。特に自動車のサスペンションの下に取り付けてあるタイヤやホイール、ブレーキ系などの重量物、すなわちばね下重量の軽量化はエンジンやボディなどのサスペンションより上に位置する重量物、すなわちばね上重量の軽量化の同じ質量あたり4~15倍の効果があるといわれている。その効果としては加速性能の向上、燃費の向上のほか、乗り心地や、路面追従性の向上などが挙げられる。ばね下重量を軽量化するにあたっては、ホイールを鉄製から軽量なアルミ製に交換するのが最も手っ取り早くそして効果が大きい。一般的な鉄製ホイールと現在最も軽いといわれるホイールであるVOLK Racing RAYS CE28Nを比べるとおおよそ5kgの違いがあり、これをばね上重量に換算すれば最大300kgもの軽量化に匹敵することになる。実際これほどまでの軽量化をばね上に施すにはほぼ別の車になってしまうほど大規模な改造が必要である。それほどばね下重量軽量化の効果が大きいといわれている。今回はその根拠に関して車体をモデル化することにより、検証することにした。

2. 研究方法

今回はばね下重量の変化が車体に与える影響のうち振動に着目した。

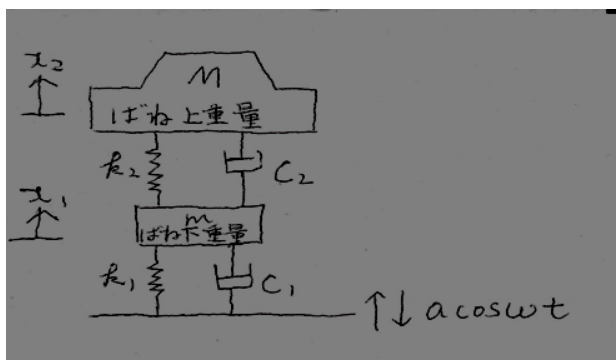


図1. 車体のモデル

図1のようにまず自動車の車体をおもりとバネ、ダンパーで簡単なモデルにしてそのモデルに地面から $a \sin \omega t$ の振動を与えた場合を考えた。この時の運動方程式は

$$m_1 \ddot{x} + c_1 \dot{x} + c_2 (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_1 x_1 + k_2 (x_1 - x_2) = -c_1 a \omega \sin \omega t + k_1 a \cos \omega t$$

...(1)

$$M \ddot{x}_2 + c_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k_2 (x_2 - x_1) = 0$$

...(2)

と導出される。ここから表計算ソフトを用いて解を導出し、その解の振幅と地面からの振動に対する位相差を調べ、ばね下重量が変化したときとばね上重量が変化したときの違いをグラフ化して比較を行った。なお今回は表計算ソフトに OpenOffice Calc を用いた。今回は車重1200~1400kg、ばね下重量を1輪あたり30~80kgで変化させた。また、路面状況による違いを考慮するため、街乗りを想定した場合に $a=0.5\text{m}$ 、 $\omega=2\text{s}^{-1}$ とし、高速での走行を想定した場合に $a=0.1\text{m}$ 、 $\omega=5\text{s}^{-1}$ とした。セッティングについても $k_2=5\text{kg/mm}$ と $k_2=10\text{kg/mm}$ の2つの場合について考えた。初期条件として $c_1=40\text{kg/s/m}$ 、 $c_2=700\text{kg/s/m}$ 、 $k_1=20\text{kg/mm}$ とした。

3. 研究結果

(i) $\omega=2\text{s}^{-1}$ 、 $a=0.5\text{m}$ 、 $k_2=5\text{kg/mm}$ のときの結果を図2、3に示す。

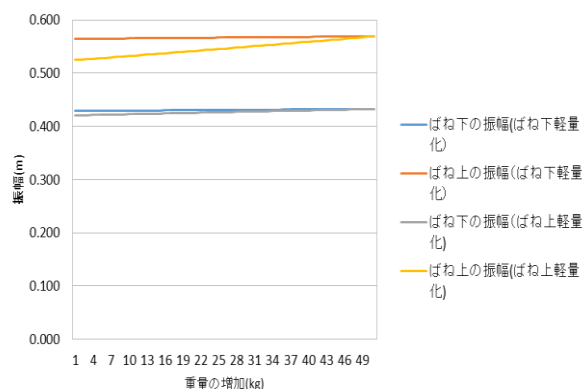


図2. 条件(i)におけるばね下とばね上の振幅変化

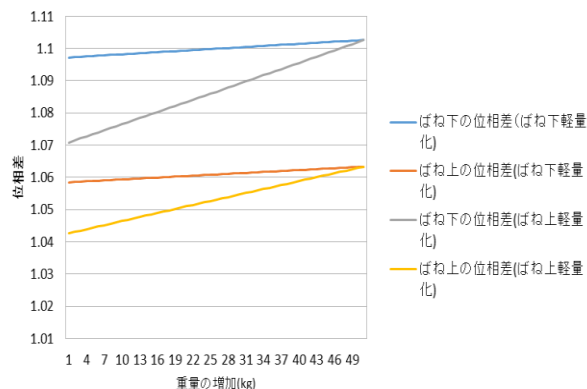


図3. 条件(i)におけるばね下とばね上の位相差変化

上の図のように通常のドライブを想定した状況ではばね上もばね下も振幅にあまり変化が現れず、またその変化の度合いもばね上を軽量化したほうが大きくなった。 $k_2 = 5\text{kg/mm}$ のときは高速走行の想定でも同じような形のグラフとなった。それに対して高速走行をしている想定でばねが硬いときに他とは明らかに異なる結果が得られた。

(ii) $\omega = 5\text{s}^{-1}$, $a = 0.1\text{m}$, $k_2 = 10\text{kg/mm}$ のときの結果を図4、5に示す。

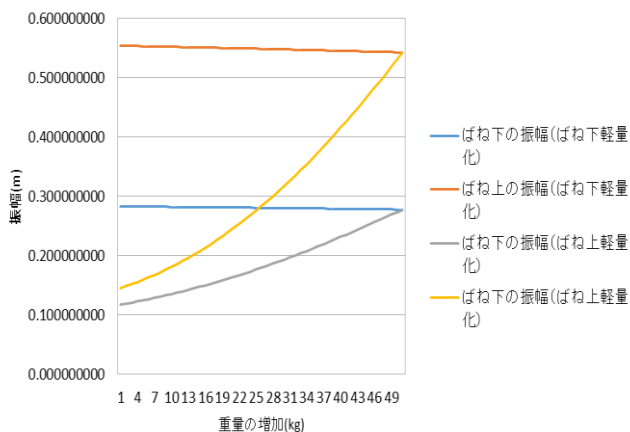


図4. 条件(ii)におけるばね下とばね上の振幅変化

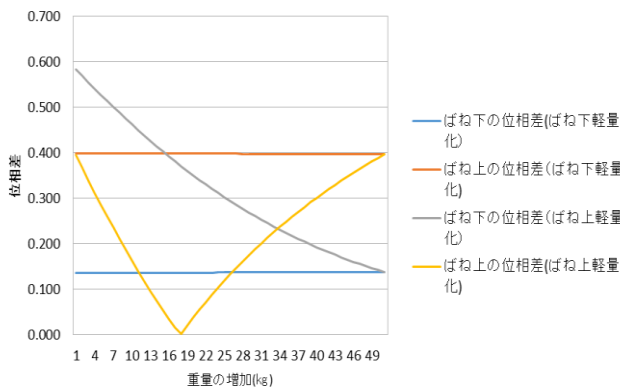


図5. 条件(ii)におけるばね下とばね上の位相差変化

このようにばね下を軽量化した時とばね上を軽量化した時では変化に大きな違いが出た。ばね上を軽量化した時ばね下の振幅は小さくなり、かつ位相差も大きくなっている。それに対し、ばね下を軽量化した時振幅はわずかに大きくなり、位相差もわずかではあるが小さくなっている。ばね上に関してはばね上を軽量化した時振幅は小さくなっているがばね下を軽量化した時はわずかながら振幅は大きくなった。

4. 考察と課題

結果から、通常の走行の想定ではばね下重量軽量化

の効果はさほど見られなかった。これはバネが柔らかいために振動をバネでおおむね吸収してしまい、おもりの部分に振動が伝わらなかったためであると考えられる。また、通常の走行ではばね上を軽量化した時のほうが振幅を抑える効果が大きかったのは、 M の値が m より大きく、振動に与える影響が大きかったためであると考えられる。一方で高速走行を想定した場合にばね下重量を軽量化するとばね下の振幅が僅かに大きくなり、位相差はわずかに小さくなった。つまり地面の振動に対して足回りがよく応答するようになったと考えられ、路面追従性の向上が見られたものと思われる。その反面、ばね上の振幅も大きくなっており、乗り心地は悪化してしまっているという結果となっていることがわかる。とはいえグラフの変化の度合いから判断すると、体感できるほどの性能の向上は振動という観点から見ればあまり見られないようである。

今回は表計算ソフトを用いたため、方程式の解の厳密な形が得られず、 ω や M のどういったパラメータが大きな影響を与えているのか、ということにははっきりしなかった。また、タイヤのばね定数や減衰定数に関する資料が少なく、こうした値は推測に基づいている。この値をもっと現実に即した値とすることで結果もまた変わってくるものと思われる。今後解の形をより厳密に求めることができればどういった状況でばね下の軽量化の効果が表れてくるのか、逆に特に効果が表れないのかといったことを調べていきたい。またばね下重量の効果には加速性能、燃費性能も向上させるとされており、これに関しても機会があれば検証してみたい。今回の検証では一般に言われているばね上重量の軽量化の4~15倍もの効果がある、ということへの根拠を見出すことはできなかったが、ばね下重量軽量化の効果の一端を考察することができた。

5. 結論

ばね下重量の軽量化は通常時には顕著な効果は無い。バネが硬く、かつ高速で走るといえばレーシングカーのような車にはばね下重量の軽量化は路面追従性の向上という効果がわずかながら現れる。ただし体感できるほどの差は見られず、かえって乗り心地の悪化を招くこともあると思われる。つまりばね下重量軽量化の効果の現れ方は車自体の性能、および使用される環境によって異なるものと思われる。

参考文献

石田幸男・井上剛志 共著「機械工学エッセンス 2 機械振動工学」 培風館