

実走中に路面からタイヤに伝達される力の実測技術とその応用例

Measurement Technique of Force Transmitted from Road Surface to Tire
during Actual Driving and Application

二宮 次郎* 皆川 正明*
Jiro NINOMIYA Masaaki MINAKAWA

織本 幸弘* 中原 淳*
Yukihiro ORIMOTO Jun NAKAHARA

要 旨

乗心地性能解析に対する新しい取り組みとして、路面からタイヤに伝わる力や、ばね下からボディに伝わる力を定量的に把握することを目的とした測定手法を開発した。

この手法を用いて測定した結果、路面からタイヤに伝達される力は、ばね下共振域で明確な指向性・車速依存性の有ることが分かった。

さらに我々は、乗心地性能向上のために、ばね下共振域の前後伝達力の削減を検討し、ホイールセンタ軌跡の接線の後傾角に適正值が有ることも確認した。

ABSTRACT

A new measuring method which enables quantitative force evaluation for the ride comfort analysis has been developed. The force transmitted from road surface to tire has been measured while the vehicle is running.

The result of the measurement has shown that the force transmitted from road to tire has certain direction of action in side view, within the frequency range between 5 and 15Hz. And the inclination angle of the direction of action has been found to be dependent on the vehicle velocity.

As the application of the measuring technique, the optimal wheel center locus inclination angle in side view, which minimizes the fore and aft force transmission from vehicle suspension to the body, has been studied. And the optimum angle has been confirmed to exist.

1. まえがき

近年、自動車の快適性に対する要求は高まる一方であり、快適性を支配する要因の一つとしての乗心地性能の向上が図られている。しかしながら、従来の乗心地性能向上に対するアプローチは、ばね上・ばね下の加速度測定からの周波数分析が主体であり、複雑な実走中の力の伝達現象の解析はあまり行われていなかった。

そこで本研究では、力の釣り合いに着目して実走中の路面不整に起因する入力がどういった経路でどのように車体に伝達されるかを定量的に把握できる測定手法の開発を試みた。この際、伝達経路別の入力および車体側の応答を測定する必要上から多チャンネルの車載同時計測

システム、解析用演算ソフトの製作も行った。

本稿では、以上の測定解析技術の概念・手法を中心に、これらを用いてボディへの伝達力削減に成功した一例を併せて報告する。

2. 計測手法

2. 1. 計測手法の概念

実走中の複雑な力の伝達を把握するために、筆者らは、まず実走中の路面からタイヤに伝達される力を測定する手法の開発を試み、当初路面側で測定する手法を検討した。テストコース上にクリート（突起）を設け、その地下にひずみゲージを用いて3軸力を測定する設備で測定

* 栃木研究所

を行う。この設備はテストコースに既に設置されていた為、希望の地表部分を作成するだけで測定可能であった。

しかし、この手法では複数路面の測定を行う場合、それだけの数の地表部分を準備しなければならない。またタイヤからサスペンション、更にボディへと伝達される力の測定には別の手法を採る必要がある。その場合二つの手法で測定したデータの同時性の確保が困難であること、また測定可能な路面部分にタイヤが載っている間しかデータが得られないということから、路面からタイヤに伝達される力を車両側で測定する手法を検討した。

2. 2. 計測手法の考え方

そこで、力の釣り合いの関係、『入力+慣性力=出力』であることを利用して伝達力を測定することを試みた。考え方の模式図を Fig.1 に示す。

この場合の「入力」は、路面からタイヤへ伝達される力であり、これを求めるためには「慣性力」と「出力」が測定できれば良いことになる。

「慣性力」については、ばね下重心の加速度を測定して、ばね下質量を乗じて求めれば良い。また、「出力」についてはボディに伝達される全入力を求めるため、総てのサスペンションアームにひずみゲージを貼り、測定した各軸力をそれぞれ求める方向にベクトル分解したものの総和で求めれば良いと考えた。模式図を Fig.2 に示す。

2. 3. 計測手法の具体的内容

路面からタイヤに伝達される力の測定は、具体的には Fig.3 に示すようにひずみゲージによる軸力測定（手法1）および車軸6分力計による分力測定（手法2）の二つの方法を併用した。手法2の場合の慣性力補正項計算

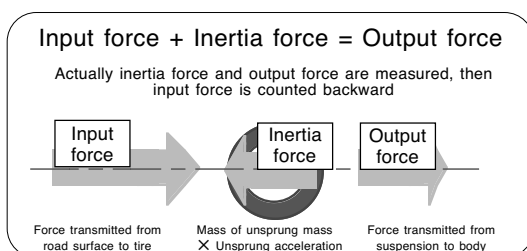


Fig.1 Input force measurement principle

には、ばね下質量全体の質量および重心加速度に代えて、6分力計の外側部分（タイヤおよびリム）の質量および重心加速度を用いる。

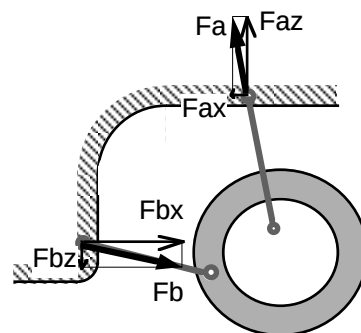
ひずみゲージは、総てのサスペンションアームを軸力成分が測定できるように加工・新作した上で貼り付けした後、各々単体校正を行い充分な線形性を確認した。また、曲げ荷重を受けるアームについては曲げ荷重を検出できるようにひずみゲージを追加した。

慣性力測定には、加速度計による加速度成分の測定を行い、重量を乗じて求めた。この際、慣性力の算出に必要なとなる重心位置の加速度は、そのポイントに加速度計を貼れないことが多いため、あらかじめ対象物の重心位置を実測しておき、複数の加速度計の値から内分外分を用いて算出した。また、測定誤差を小さくするため、加速度計の貼り付け角度誤差は $\pm 1^\circ$ 以内に抑えた。

2. 4. 計測解析環境の整備

更に、実際の測定に関して、ボディに伝達される総ての力を経路別に複数輪分測定するためには多チャンネルの車載同時計測が必要であり、チャンネル数が多いことからヒューマンエラーが少なく効率の良い計測システムも必要となった。そのため、操作性が良く誤設定を出来るだけ防止・予防できる計測ソフトを製作した。

また、測定したデータと他のデータおよび定数との加減乗除を行い、伝達力を演算するための計算解析ソフトも製作した。



F_a, F_b ---- Measured axial force
 Vertical output force = $F_{az} + F_{bz}$
 Longitudinal output force = $F_{ax} + F_{bx}$

Fig.2 Output force measurement

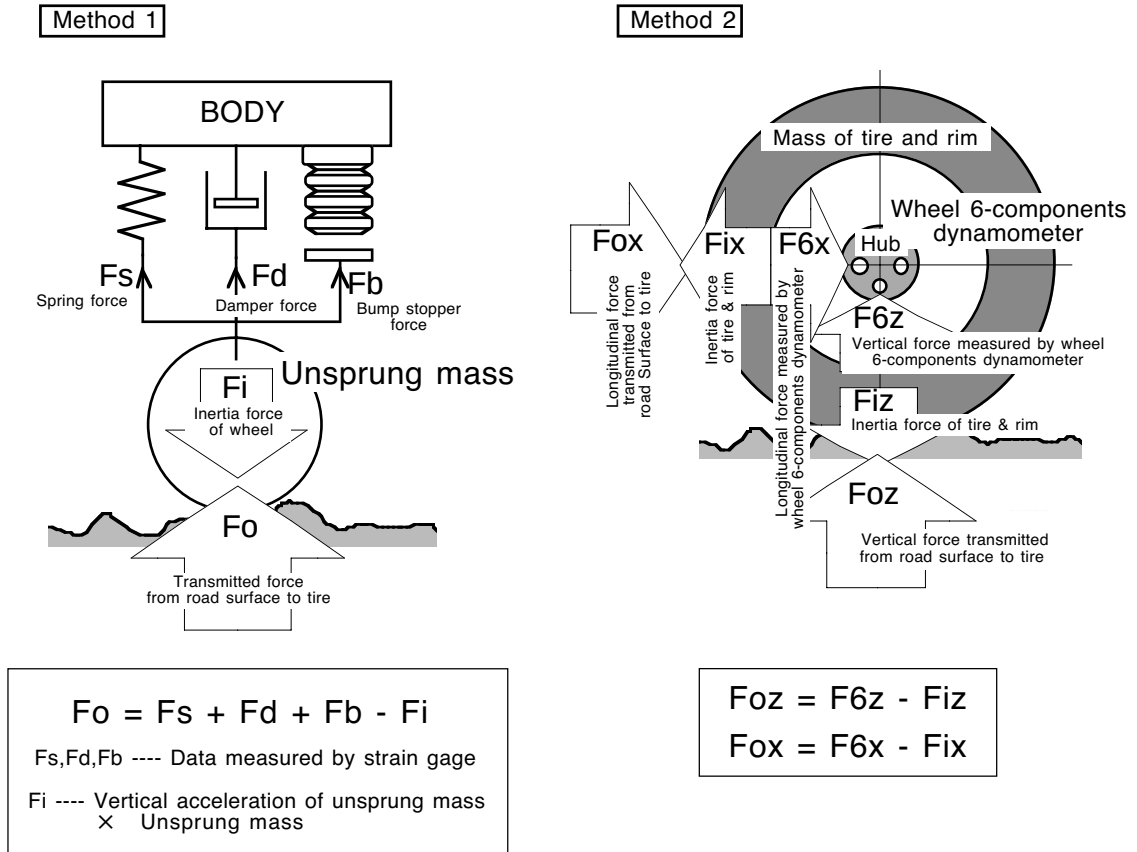


Fig.3 Outline of measurement technique

2. 5. 多チャンネル車載同時計測システム

多チャンネル計測システムの概要を Fig.4 に示す。パソコンから計測用ソフトの操作により、

- (1) 計測器の校正値等の自動設定
- (2) 校正信号の入力
- (3) 測定トリガの発信
- (4) 測定電圧値の物理量への変換
- (5) 測定データの名称設定および保存

といった計測時の一連の流れが簡易操作で行うことができ、測定後数分で解析用データの取得が可能となった。

またシグナルコンディショナの設定をテキスト形式のファイルから読み込み実行するため誤設定を測定後に確認出来、更に測定データに測定条件(日時、サンプリング周波数、データ点数等)が自動保存されるため、作業者の忘却によるデータの散逸を防ぎやすくなった。

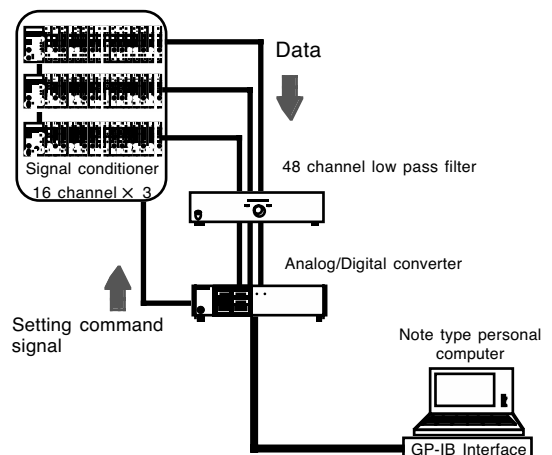


Fig.4 Measurement system on the car

2. 6. データ演算解析ソフト

データ演算解析ソフトの主な機能を Fig.5 に示す。演算処理から出力先の指定まで、汎用エディタで作成するテキスト形式のファイルのため、計算ミスの確認や定型処理に有効である。

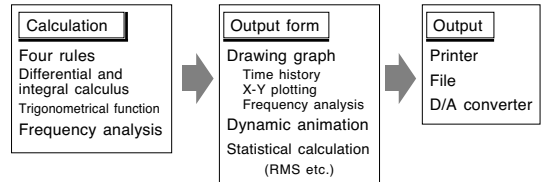


Fig.5 Principal function of analysis application

3. 測定手法の確認

3. 1. 検証手法

まず、測定手法の妥当性を次のように確認した。Fig.6 に示すように、3 軸力測定ローラを用いてローラからタイヤへの伝達力の直接計測を行い、これと車側から同時に測定算出したタイヤへの伝達力を比較した。直径 1.4 7 m のドラムをベースに 4 種類の凹凸形状を造り、8 0 k m / h まで 1 0 k m / h 毎に車速を変えて伝達力を測定した。測定車は A 車、B 車の 2 車種で行った。

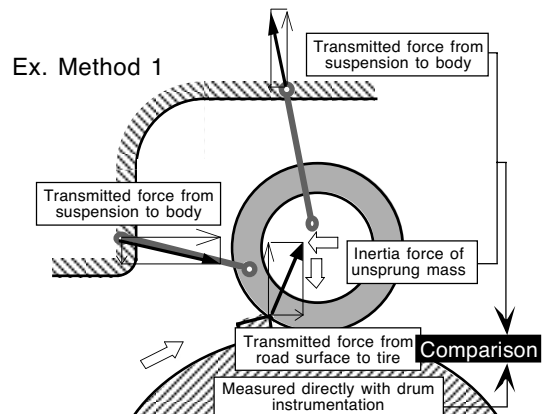


Fig.6 Verification of measurement technique

3. 2. 確認結果

全てのデータを確認した結果、上下力、前後力ともに 2 0 H z 以下の低周波数域では路面側実測値と車側からの測定算出値とはほぼ一致し、解析に用いるには十分な精度が得られた。確認データの一例を Fig.7、8 に示す。

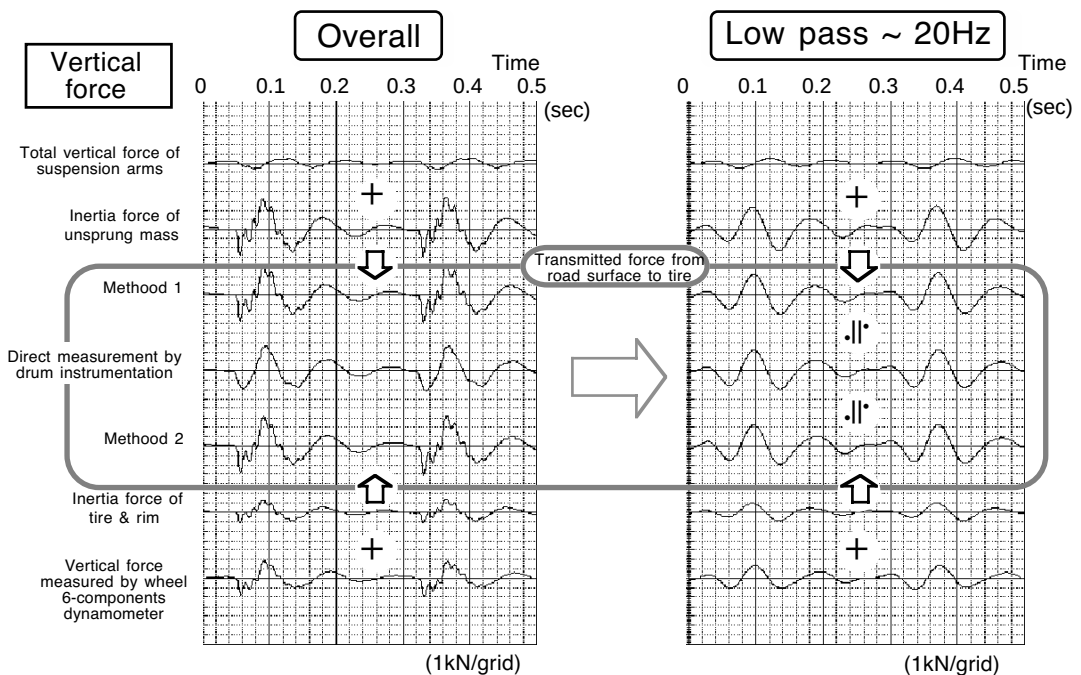


Fig.7 Comparison of vertical force measurements derived from three different methods

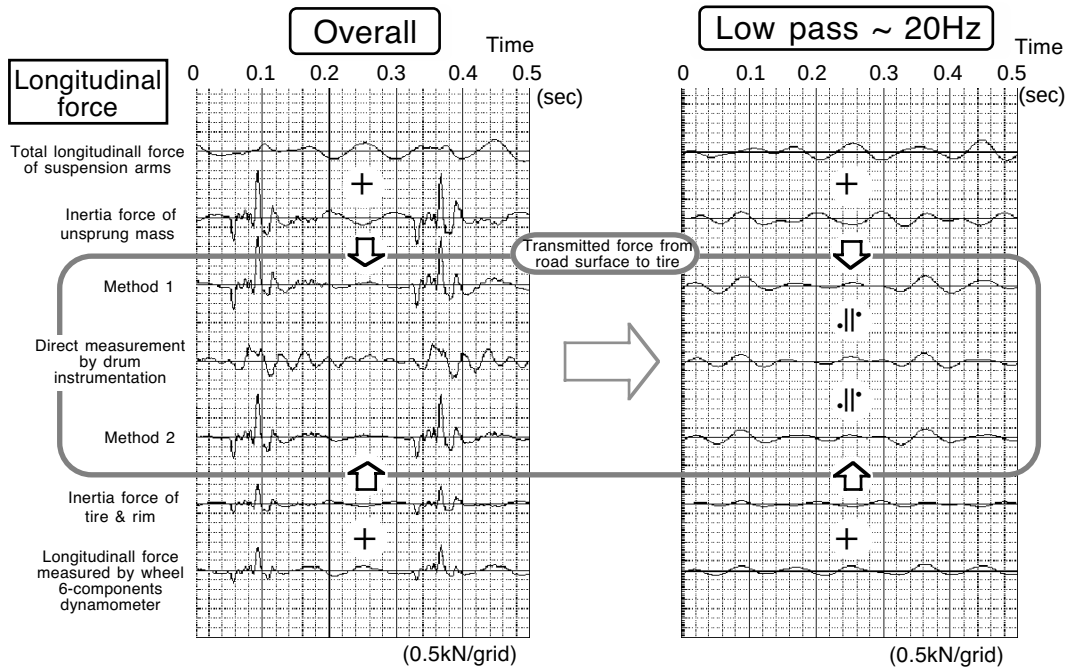


Fig.8 Comparison of longitudinal force measurements derived from three different methods

3. 3. 周波数の上限

車側から測定算出した路面からタイヤへの前後伝達力は、20Hzを越えると路面側から実測した伝達力と徐々に合わなくなってくるが、これはホイールとタイヤトレッドリングが40Hz付近で前後方向に別々の動き

をする為、ばね下前後慣性力(ナックル加速度から演算)のうちトレッドリング前後慣性力の分が正確に測定できなくなるためと考えられる。

確認データの一例をFig.9に示す。

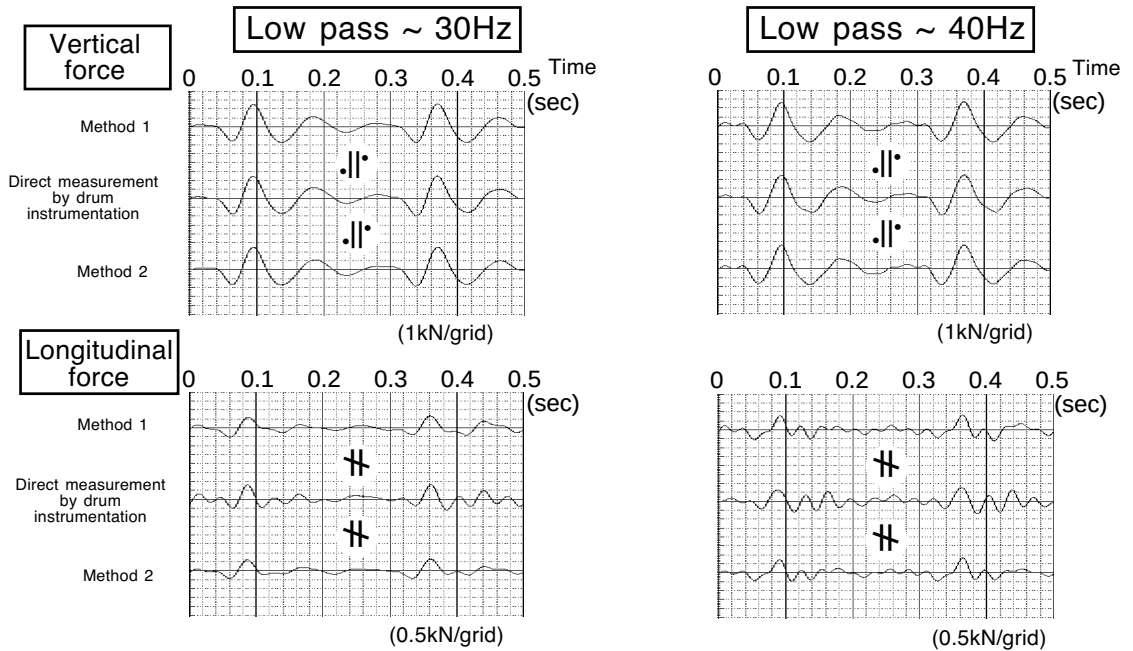


Fig.9 Disagreement of three measurements, in higher frequency range

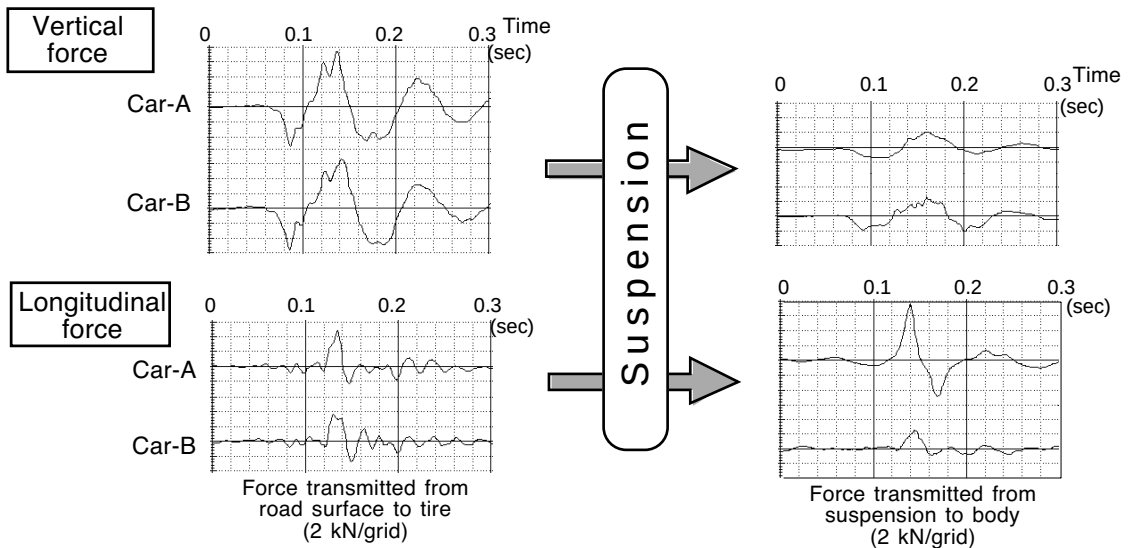


Fig.10 Force transmitted from road surface to tire, measured during actual driving over a pothole

5. 測定技術の適用例

5. 1. 実走実測結果

前述の測定手法および計測システム、解析ソフトを用いて路面からタイヤへ、およびサスペンションからボディへの伝達力を実走で測定した。

結果をFig.10に示す。タイヤに伝達される力は、A車、B車の差は小さいが、ボディに伝達される前後力はA車が圧倒的に大きく、しかもタイヤに伝わった力を増幅してボディに伝達していることが分かった。

そこで、ボディに伝達される前後力の周波数分析を行った結果をFig.11に示す。この結果からA車、B車の差が大きいのは、ばね下前後共振域の10 Hz付近が主であることが確認された。

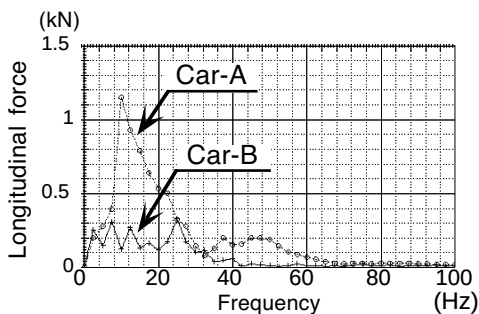


Fig.11 Longitudinal force transmitted from suspension to body

5. 2. 力の伝達メカニズムの仮説

10 Hz 前後の周波数域の傾向として、サスペンションの力伝達特性は、サスペンションストローク軌跡の接線方向の伝達率が低い、法線方向の伝達率は高く、ばね下前後共振付近にピークを持つ。また、10 Hz 前後のタイヤに伝達される力は実測の結果、上下力と前後力が一定比率であり、指向性を持つことが分かった。(以降、この方向と地面の垂直線との成す角度を入力傾斜角と呼ぶ。因みに20 Hz以上の周波数成分は指向性が弱い。)

以上のことから、サスペンションの力伝達率の低い方向を路面からの入力方向に合わせれば、サスペンションの弱点方向(ストローク軌跡の法線方向)の入力を大幅に減らせると推測される。概念図をFig.12に示す。

以上の、仮説の妥当性確認のため、ホイールセンタ軌跡の接線の後傾角(車軸軌跡後傾角)を変更した際にボディに伝達される前後力を、路面からタイヤへ伝達される力の実測値を基に計算検討した結果をFig.13に示す。

路面からの入力が指向性を持つ周波数域(5~15 Hz)で大きく変化し、車軸軌跡後傾角を4°以上に設定することで前後伝達力を大幅に低減できる見通しがついた。

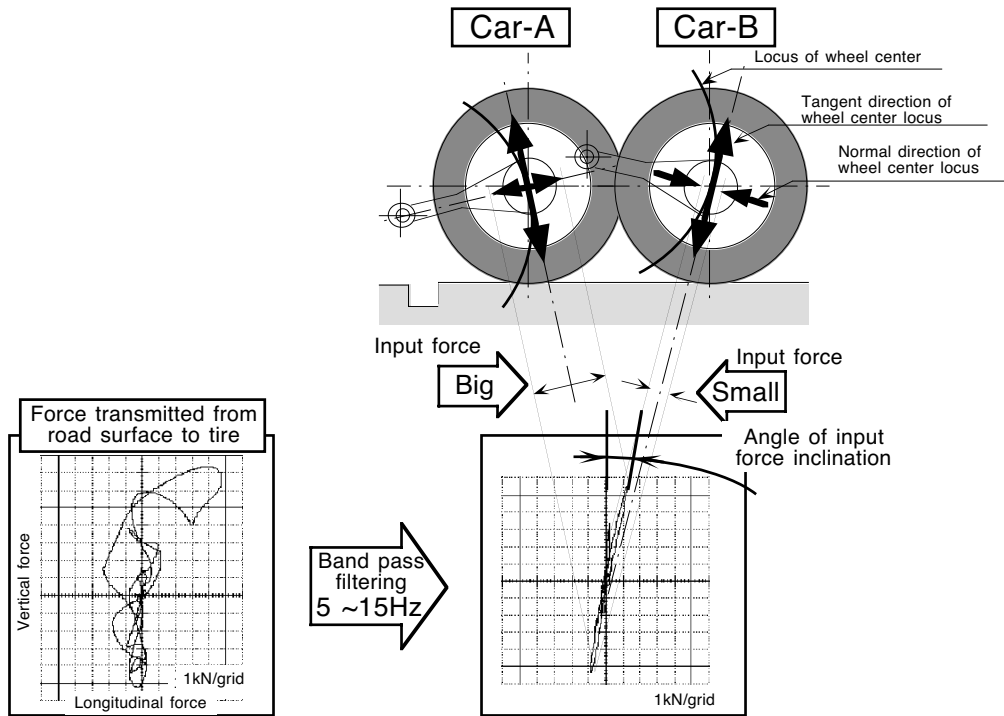


Fig.12 Outline of hypothesis

5. 3. 実車効果確認結果

ボディへ伝達される前後力が多いA車の車軸軌跡後傾角を変更した試作車を造り、ボディに伝達される前後力を実走実測し比較をFig.14に示す。

実走実測の結果、ボディに伝達される前後力は大幅に低減され仮説が妥当なことを確認できた。

また、伝達力そのものが下がったことでブッシュ変位の使用域が短くなった結果、前後コンプライアンスブッシュの非線形立ち上がり部分で発生していた高次成分(40Hz付近)も削減された。

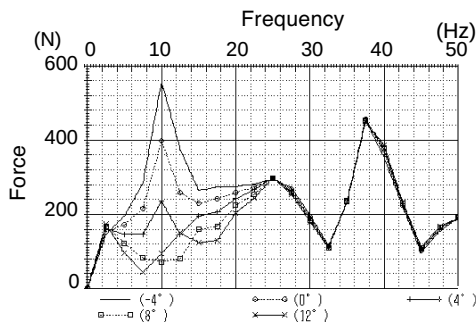


Fig.13 Longitudinal force transmitted from suspension to body with various wheel center locus inclinations

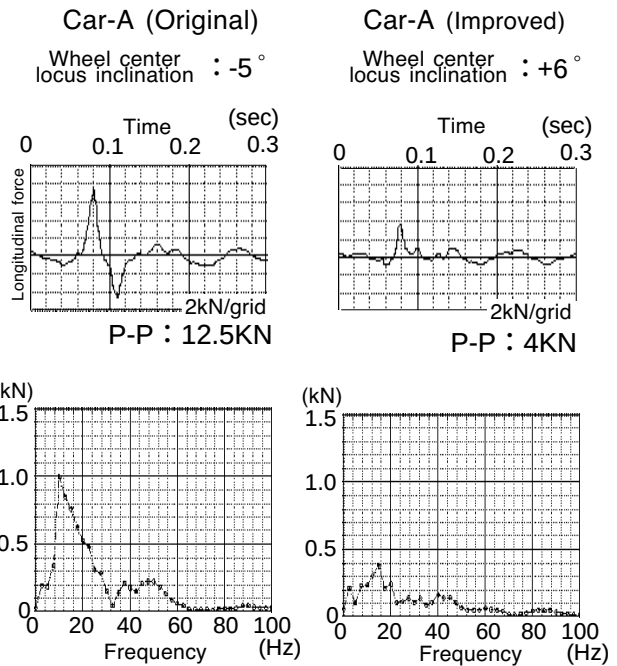


Fig.14 Improvement of longitudinal force transmitted from suspension to body

6. 車軸軌跡後傾角の適正化

6. 1. タイヤに伝達される力の車速依存性

様々な車種・サスペンション形式・路面・タイヤで路面からタイヤへの伝達力を実走実測した結果をFig.15に示す。伝達力値に幅があるものの高車速になるほど入力傾斜角は小さくなっていくという車速依存性が確認された。

6. 2. 車軸軌跡後傾角の設定

テストコースの様々な路面を様々な車速で実走した際の路面からタイヤへの伝達力から、ボディへ伝わる前後力を計算した結果を Fig.16 に示す。重視する車速域に

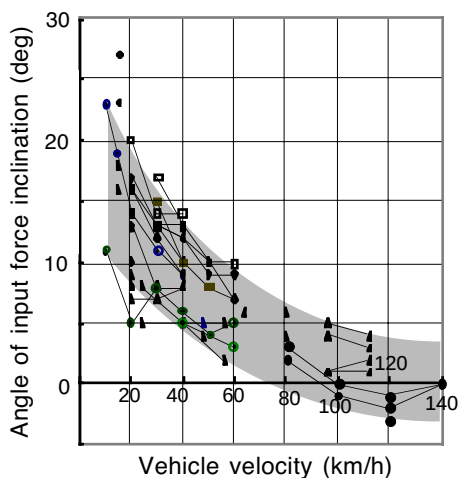


Fig.15 Measured results of angle of input force inclination

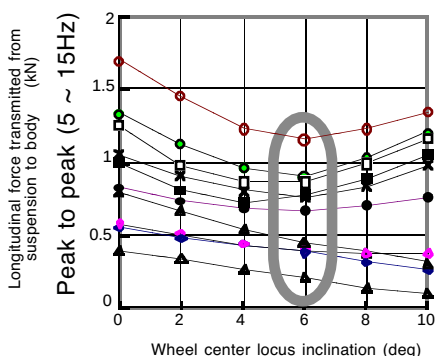


Fig.16 Calculated results of longitudinal force

よっても異なるが、我々の検討した範囲では車軸軌跡後傾角は6°付近が適正であると考えられる。

7. まとめ

今回開発した、実測技術により

(1) 20 Hz以下の低周波数域で、路面からタイヤに伝達される力およびサスペンションからボディに伝達される力を実走で定量把握する手法が確立できた。

(2) 10 Hz付近の路面からタイヤに伝達される力は、指向性を持つこと、またその角度は車速依存性を持つことが分かった。

(3) 我々の検討した範囲では、10 Hz付近の前後伝達力を最小化する車軸軌跡後傾角は、約6°であることが分かった。

謝 辞

測定手法の妥当性検証に協力して頂いた(株)ブリヂストンの関係者の皆様に感謝の意を表します。

■ 著 者 ■



二宮 次郎



皆川 正明



織本 幸弘



中原 淳