

⑨ 実走行状態における燃費・排出ガス計測手法に関する研究

—実路走行における駆動力測定手法について—

環境研究領域

※佐藤 進

山本 敏朗

小川 恭弘

株式会社小山ガレージ

佐々木 裕

東洋測器株式会社

菊入 広

金子 克也

1. はじめに

路上走行自動車の実走行燃費、排出ガス挙動の把握のためには、車載型排出ガス計測システムを用いて計測が必要となる。その燃費および排出ガスの挙動はエンジンのトルクおよび車両の駆動力に依存する。必要駆動力は、車両にかかる走行抵抗の値を求めることができれば、推定することが可能である。ここで車両にかかる走行抵抗は、空気抵抗、転がり抵抗、加速抵抗、勾配抵抗の4つで構成される。当研究所では、これまで特にその計測が困難とされている勾配抵抗の計測手法について研究を行ってきた⁽¹⁾。これにより勾配抵抗の正確な把握および走行抵抗の評価が可能となった。しかし勾配等の路面状態に左右されずに、路面と接するタイヤ、ホイール部分での直接的な駆動力の計測が可能になれば、より実用性が高いと考えられる。

実際に車両にかかる駆動力は、路面と接するタイヤ、ホイール部分にかかるトルクを測定することで計測可能である。しかし現存するトルクメータは、ホイール外側部分に装置が設置されるような形状をしており⁽²⁾、車体側面から装置がはみ出すことになり路上走行での使用は不可能である。また最近では、ホイール内側部分を加工して計測装置を設置するタイプのトルクメータも開発されている⁽³⁾が、ホイール本体の強度の問題で、やはり路上走行時に使用することはできない。

本研究では、路上走行時でも装着可能であり、かつ十分な強度と計測精度を備えたホイールトルクメータの開発を行った。開発するホイールトルクメータは、その内側に歪みゲージを有し、ハブとホイールの間に挟んで装着可能なものとする。この装着方法を採用することで、従来のトルクメータで起こるような取り付けに関わる問題は解決される。

本研究では、シャシダイナモメータ上で上述のホイールトルクメータを装着した車両を走行させトルクを計測し、シャシダイナモメータ上で計測されるトルクと比較することで、その精度検証を行うことを第一の目的とする。次に、4つの抵抗分を計測できる車両にホイールトルクメータを装着して実路を走行させ、それぞれの抵抗分を合計することで算出される走行抵抗と、実際に車両にかかる駆動力を比較、検証することを第二の目的とする。

2. ホイールトルクメータについて

2. 1. ホイールトルクメータの構成および特長

本研究で開発したホイールトルクメータは、図1に

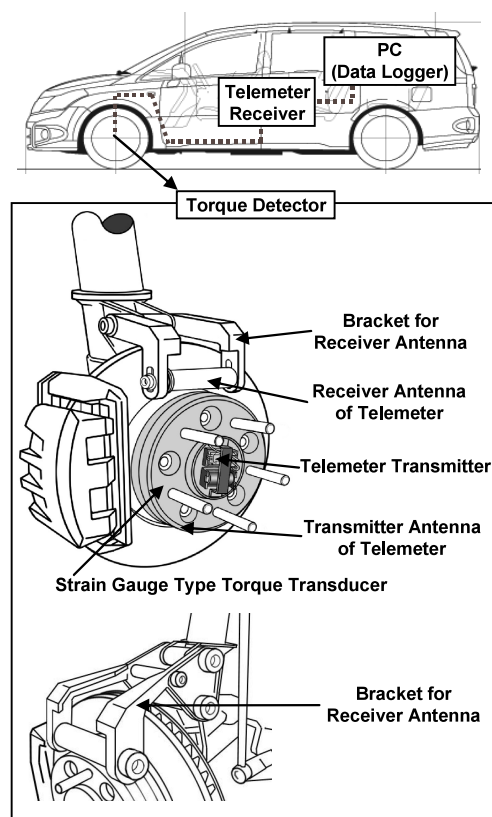


図1 ホイールトルクメータの構成

示すようにトルク変換器を含むトルク検出部、テレメータ受信部およびデータロガーで構成される。トルク検出部のひずみゲージ式トルク変換器は車両の駆動輪のハブとホイールの間に挟み込んで装着される。これは本装置に使用するトルク変換器が、従来のトルク変換器に比べて幅が非常に狭いことにより実現される。つまりこの特長故に、車両に装着した際の車幅増加率を極力抑えることが可能である。ハブとホイールとの間にボルト、ナットで簡単に設置固定出来ることから、大幅な改造をすることなく車両への装着が可能である。また従来使用されているトルク変換器のように車幅からはみ出す部材がないため、公道走行も可能となる。

ホイールトルクメータのトルク測定の流れは以下の通りである。

- ①ひずみゲージ式トルク変換器にテレメータ送信部を介してバッテリーより電圧が加えられる。
- ②トルクの発生によりトルク変換器は電圧を出力。
- ③出力された電圧をテレメータ送信部が受信。
- ④テレメータ送信部からテレメータ受信部に電圧を無線送信。
- ⑤テレメータ受信部にて受け取った電圧を増幅。
- ⑥増幅された電圧を PC にて受信。
- ⑦PC にて電圧をトルク値に換算。

2. 2. ひずみゲージ式トルク変換器について

図2に本装置に使用するひずみゲージ式トルク変換器の構造を示す。変換器は円筒の両端にフランジを有する構造で、両端にかかるトルクがフランジを介して円筒部に伝達される。円筒部にかかるトルクは、円周方向の 45° 方向に最大ひずみを発生するため、この方向に対して円筒内面にひずみゲージを接着する。計測誤差を出来るだけ軽減するため、円周上のなるべく多くの箇所に接着することが望ましい。今回は 45° ピッチにて 8 枚のひずみゲージを接着した。

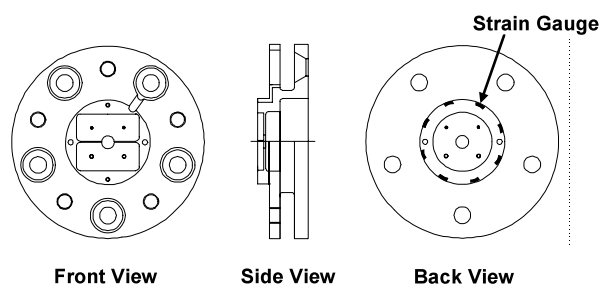


図2 ひずみゲージ式トルク変換器の構造

車両の走行時にトルク変換器にかかる力としては、軸の回転方向にかかるトルク、軸に対して垂直方向にかかる力、すなわち車重や路面から受ける反力、軸にかかる軸力の 3 方向への力である。このトルク変換器の強度についてシミュレーションを行ったが、想定される力に対して十分な強度が確保された。また実際にテストコース上にて、ホイールトルクメータを車両に装着した状態で、急加速、急減速、スラローム等の実走行を行い、損傷等の無いことも確認している。

3. ホイールトルクメータの計測性能および精度

前章で説明したホイールトルクメータを試験車両に実装し、シャシダイナモメータおよびテストコースにて走行試験を実施し、その検証を行った。なお試験車両には、排気量 2499 cc、前輪駆動のガソリン乗用車を使用し、右前輪、左前輪にそれぞれひずみゲージ式トルク変換器を装着させて計測を行った。なお試験時の車両重量は 1960 kg である。またひずみゲージ式トルク変換器を装着した場合、トルク変換器の重量が片側 2.65 kg であるため、ホイールを軽量のものと交換することで、トルク変換器装着前の純正タイヤ・ホイールの合計重量と、トルク変換器装着後のトルク変換器およびタイヤ・ホイールの合計重量がほぼ等しくなるように調整して実験を行った。

3. 1. シャシダイナモメータ試験での検証

シャシダイナモメータ試験では、試験車両の後輪を固定し前輪駆動状態で試験を行った。ここでは JC08 モード（ホットスタート）の条件下での結果について説明する。図3に JC08 モード走行時の車両速度 v 、加速度 α 、ホイールトルクメータで検出される右前輪ホイールトルク T_{WTM_R} 、左前輪ホイールトルク T_{WTM_L} 、ホイールトルクの合計値 T_{WTM} およびシャシダイナモメータ上で検出される正味ダイナモトルク T_{DY} （タイヤ、パワートレイン系のロス分を加算したトルク）の履歴を示す。図には JC08 モードがスタートしてから 400 秒間のデータを示した。まず加速度 α と左右のホイールトルク T_{WTM_R} 、 T_{WTM_L} を比較すると、加速度の変化とホイールトルクの変化の波形が一致していることが分かる。また右前輪ホイールトルク T_{WTM_R} と左前輪ホイールトルク T_{WTM_L} を比較すると、基本的に履歴が一致する。しかし一致するのは $v > 0$ km/h の範囲においてであり、 $v = 0$ km/h のとき、つまり車両が停

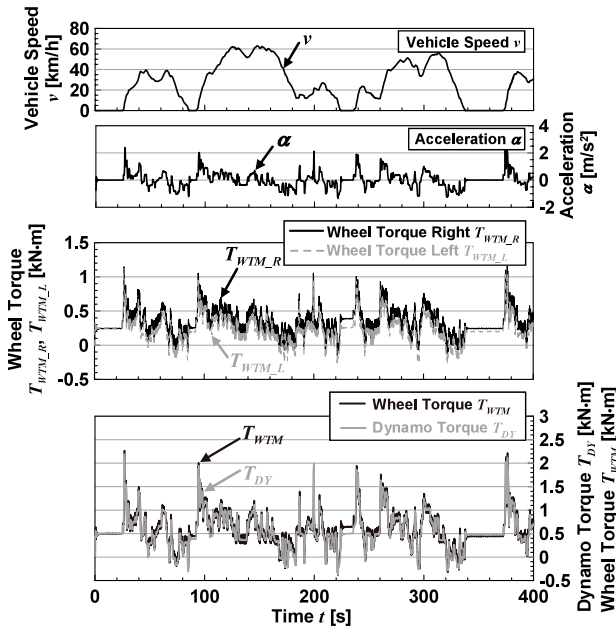


図3 JC08 モード試験における車両速度，加速度，ホイールトルク，正味ダイナモトルクの履歴

止している状態においては一致していない。本研究で開発したひずみゲージ式トルク変換器の内側には8枚のひずみゲージが貼られており，車両が停止したときに，どのひずみゲージの位置で駆動輪が停止したかにより検出されるトルクが変化することがその原因である。

次に左右のホイールトルクを合計して求めた値 T_{WTM} とシャシダイナモメータで検出されるダイナモトルク T_{DY} を比較すると，その値はほぼ一致していることが分かる。ただし $v=0$ km/h のときには，その値が一致しない箇所がある。これは上述した原因と同じである。これら2つの値の相関をとったのが図4である。図4に示したプロットはJC08 モード一走行の全データを対象に車速 0 km/h におけるデータは除外したものである。またプロットに対して最小二乗法により近似直線を表記した。近似直線の傾きは 0.963，決定係数は 0.962 という値が得られており，ホイールトルクメータで使用するひずみゲージ式トルク変換器は，車両に装着した状態において高精度で計測ができていることが明らかになった。また使用したトルク変換器は，単体での計測試験結果においても約 1～1.5% の精度が得られている。

本研究で開発したホイールトルクメータは，トルク変換器の中心とタイヤの幅方向のセンター位置が接近した状態で組みつけられているため，直進走行の場合，極端なモーメントは発生しない。またタイヤに

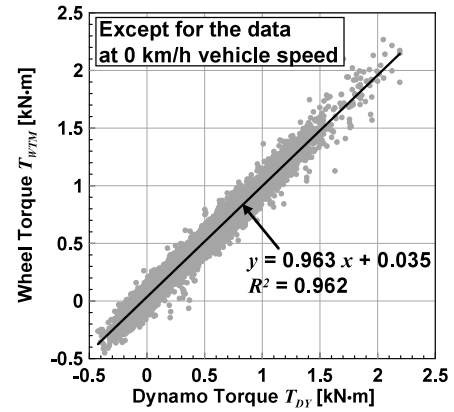


図4 JC08 モード試験における正味ダイナモトルクとホイールトルクの相関図

よるロスについても懸念される点ではあるが，タイヤがスリップしない限りダイナモのデータとトルク変換器によるデータは互換性がある。今回行った JC08 モードの走行においてタイヤスリップは発生しない。これらの点を総合的に考えた場合にも，本ホイールトルクメータが高精度でトルク計測が可能であることが分かる。

3. 2. テストコース走行試験での検証

前節の結果を受け，テストコースにて走行試験を行い駆動力計測の検証を行った。交通安全環境研究所自動車試験場のテストコースにおいて，シャシダイナモメータ試験時と同じ車両を用いて走行試験を行った。またこの車両には，著者らが開発した手法⁽¹⁾により道路勾配を計測するために，ジャイロセンサーおよびハイトセンサーを搭載しており，両センサーの計測値を用いることで勾配抵抗の正確な算出が可能となる。

ここでは，車両の前輪に装着されたホイールトルクメータによりホイールトルクを計測し，その値を元に算出される駆動力を走行抵抗と比較することで検証を行った。走行抵抗 R および駆動力 F の算出式は以下の通りである。

$$R = R_c + R_a + R_r + R_e \quad (式1)$$

$$R_c = (W + W_r)\alpha \quad (式2)$$

$$R_a = C_d(\rho/2)Av^2 \quad (式3)$$

$$R_r = \mu Wg \quad (式4)$$

$$R_e = Wg \sin \theta_r \quad (式5)$$

$$F = (T_{WTM_R} + T_{WTM_L})/r \quad (式6)$$

ここで，

A : 前面投影面積[m²], C_d : 空気抵抗係数[N·s²/(g·m)],
 F : 駆動力[N], g : 重力加速度[m/s²], v : 車両速度[m/s],
 r : タイヤ半径[m], R : 走行抵抗[N], R_a : 空気抵抗[N],
 R_c : 加速抵抗[N], R_e : 勾配抵抗[N], R_r : 転がり抵抗
[N], T_{WTM_L} : 左前輪のホイールトルク[N·m], T_{WTM_R} :
右前輪のホイールトルク[N·m], W : 車両重量, W_r :
回転部分相当質量[g], α : 加速度[m/s²], μ : 転がり抵
抗係数[N·s²/(g·m)], θ_r : 道路勾配[deg.], ρ : 空気密度
[g/m³]

なお空気抵抗 R_a および転がり抵抗 R_r については,
試験車両を用いて惰行試験を行い, その結果を元に算
出した。また駆動力 F を求める際に使用するタイヤ半
径 r は固定値を用いている。

図5に平坦路走行時の車両速度 v , 道路勾配 $\sin\theta_r$,
加速度 α , 左右前輪で検出されるホイールトルク
 T_{WTM_R} , T_{WTM_L} , 加速抵抗 R_c , 勾配抵抗 R_e , 空気抵抗
 R_a , 転がり抵抗 R_r , 走行抵抗 R および駆動力 F の履
歴を示す。この走行試験では車両速度の履歴が示すよ
うに, 20 km/h 以下での低速での加減速走行および急
加速急減速の走行を2回行った。

平坦路での走行であるため, 道路勾配 $\sin\theta_r$ はほぼ
0%である。シャシダイナモメータでの試験時と同様
に, 車両の加減速に合わせてホイールトルク T_{WTM_R} ,
 T_{WTM_L} の値が増減している。その加減速によって生じ
る加速抵抗 R_c が, 走行抵抗 R の大半を占めているこ
とも図より見て取れる。またホイールトルクから算出
した駆動力 F は, 走行抵抗 R と比較すると履歴の増減
を再現できており, 値がほぼ一致していることが分か
る。しかし2回の急減速時 ($t=36\text{ s}\sim 42\text{ s}$, $78\text{ s}\sim 84\text{ s}$)
において, 走行抵抗 R に対して駆動力 F の値が乖離し
ている。これは駆動力 F の算出の際, ホイールトルク
をタイヤ半径 r で除しているが, このタイヤ半径に固
定値を用いたことと, タイヤ自身の変形ロスの影響が
加算されたことが原因と考えられる。試験車両は前輪
駆動車であり, 急激な減速の際, 荷重は駆動輪である
前輪側に移動する。タイヤは荷重によって変形し, 実
際のタイヤ半径は通常状態と比較して小さくなる。

4. ま と め

本研究では, 路上走行時でも装着可能であり, かつ
十分な強度と計測精度を備えたホイールトルクメー
タの開発を行い, シャシダイナモメータ試験とテスト
コース走行試験による検証を行った。

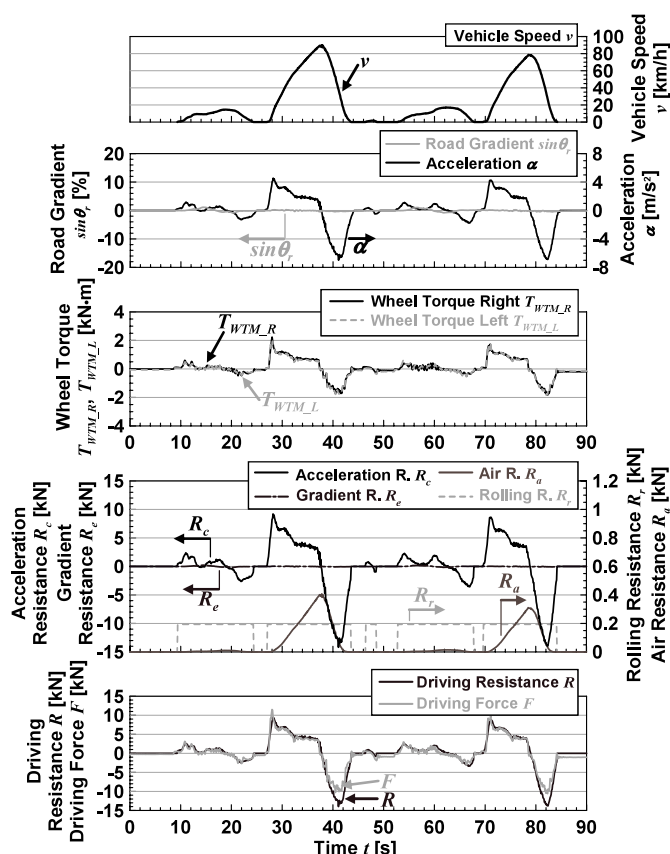


図5 平坦路走行時の車両速度, 道路勾配, 加速度,
ホイールトルク, 加速抵抗, 勾配抵抗, 空気抵抗, 転
がり抵抗, 走行抵抗 R および駆動力 F の履歴

- (1) シャシダイナモメータ試験において, ホイールトルクとダイナモトルクの比較検証を行った結果, 本研究で開発したホイールトルクメータは高い精度でトルクを計測可能であることが明らかになった。
- (2) テストコース走行試験において, 平坦路での試験を行った結果, 高精度で駆動力を評価できることが明らかになった。ただし車両の荷重移動により生じるタイヤ半径の変化を捉えることができれば, より精度の向上が見込まれる。
- (3) 今後は開発したホイールトルクメータを装着した状態で実路走行試験を行い, リアルワールドエミッションの解析等に役立てる予定である。

参 考 文 献

- (1) 佐藤 進, 他2名, 自動車技術会論文集, Vol.39, No.5, pp.163-168 (2008)
- (2) http://www.kistler.co.jp/pro/pro_9/0002.html
- (3) http://www.tml.jp/product/automotive_ins/automotive_ins_sub/ltwnd.html