—技術報告—

自動二輪車のエンジンブレーキ性能と交通事故解析への応用

戸田 均¹, 小倉崇生¹, 伊藤智泰², 磯和克樹²,
植地弘毅², 大賀 涼³, 奥野 健³

¹三重県警察本部刑事部科学捜査研究所
〒514-8514 三重県津市栄町一丁目100番地

²三重県警察本部交通部交通指導課
〒514-8514 三重県津市栄町一丁目100番地

³科学警察研究所
〒277-0882 千葉県柏市柏の葉 6 丁目 3 番地 1

**Application of Motorcycle Engine Brake Performance to
Traffic Accident Reconstruction**

Hitoshi Toda¹, Takao Ogura¹, Tomoyasu Ito², Katsuki Isowa², Kouki Ueji²,
Ryo Oga³ and Ken Okuno³

¹*Forensic Science Laboratory, Mie Prefectural Police Headquarters
1-100, Sakaemachi, Tsu, Mie 514-8514, Japan*

²*Traffic Enforcement Division, Mie Prefectural Police Headquarters
1-100, Sakaemachi, Tsu, Mie 514-8514, Japan*

³*National Research Institute of Police Science
6-3-1, Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-0882, Japan*

(Received 24 November 2015; accepted 8 September 2016;
Published online 3 November 2016 in J-STAGE DOI: 10.3408/jafst.711)

The motorcycle has a high running stability. Therefore, the motorcycle can keep running without the rider before and after a traffic accident. For Traffic accident reconstruction which involves an unmanned motorcycle, we needed the deceleration value of the motorcycle during running without a rider. Running without a rider is in much the same state as running with the engine brake on. Therefore, we investigated performance of motorcycle engine brake to use for analysis of traffic accident.

Engine displacement of the motorcycles with manual transmission (MT) we used was from 250 cc to 1200 cc. And that with automatic transmission (AT) was 50 cc and 250 cc. We examined coasting tests in various speeds and various gears.

In the result, we found that the motorcycle with MT speed bear a direct proportionate relationship to deceleration of engine brake running. And then, we found

* 本論文の内容は、日本法科学技術学会第17回学術集会発表（平成23年11月）において奨励賞を受賞した。

that speed change per unit distance doesn't depend on the motorcycle speed in case of high speed running. However, speed change per unit distance decreased in the case of low speed running by the motorcycle with MT. Simultaneously, the motorcycle with AT increased the value of speed change.

Key words: Engine Brake, Motorcycle, Coasting Test, Traffic Accident Reconstruction

緒 言

自動二輪車の交通事故解析のために、バリア衝突実験や実車衝突実験によるホイールベース変形量および被衝突車両の変形量に着目した研究¹⁻⁵⁾や、転倒滑走中の二輪車の減速度に関する研究⁶⁻⁹⁾が行われている。しかし、四輪車と比べると、事故解析に必要なデータが不足しており、特に自動二輪車特有の現象については、多くの研究が求められている。

自動二輪車はジャイロ効果などにより高速での走行安定性が高く、事故時に運転手が自動二輪車から離れた状態でも自走する現象がみられる。自動二輪車が自走している状態では、転がり抵抗、空気抵抗に加え、動力伝達部の抵抗により車両が減速していく。この状態はエンジンブレーキにより減速している状態と同様であるが、自動二輪車のエンジンブレーキによる減速度についてはほとんど報告されていない。また、森下らの研究¹⁰⁾から、自動二輪車のエンジンブレーキによる減速が等減速度ではなく、走行速度に影響されることが報告されており、走行速度が不明な交通事故解析においては、エンジンブレーキによる減速を検討することが困難である。

そこで本研究では、排気量の異なる複数の自動二輪車を用いた惰行試験によりエンジンブレーキの性能を調査するとともに、得られたデータの交通事故解析への応用について検討を行ったので報告する。

なお、本研究におけるエンジンブレーキ性能は、動力伝達部の抵抗のみではなく、転がり抵抗や空気抵抗を加えた実走行時の減速性能として定義する。

実験方法

1. 実験概要

指定の速度まで自動二輪車を加速させた後に、アクセルをオフにしてギアを繋いだ状態での惰行試験を行った。惰行試験では、実験車両を指定の速度まで加速させる加速区間、惰行を行う直前に速度を調整する調整区間及び惰行区間を設定し、各区間は安全性を考慮し運転手が走行時に任意に設定した。惰行開始位置については、惰行が安定した位置を実験車両に取り付けた GVS 速度・距離計（株式会社バイオシステム製）の計測データから判定した。

解析する惰行区間は40 m とし、惰行開始位置からの距離、惰行区間の高低差及び惰行試験時の速度変化についても、GVS 速度・距離計を用いた。

2. 実験車両

実験車両は、手動変速機の車両（以下、MT 車）を 5 台（MT1～MT5：1200 cc, 750 cc, 400 cc, 250 cc クラス）および自動変速機の車両（以下、AT 車）を 2 台（AT1, AT2：250 cc, 50 cc クラス）の計 7 台である。各車両の外観を Fig. 1 に、諸元を Table 1 に示す。

3. 実験条件

走行速度は30～120 km/h を目標とし、2 箇所の実験場所において以下の条件で行った。

(1) 実験 1

実験場所：開通前の道路（平均斜度1.4%，乾燥アスファルト路面）

実験は走行区間を往復することにより上り傾斜と下り傾斜の両方で行った。

走行速度：70 km/h 以上

実験車両：MT1～MT3

Fig. 1 Motorcycles Used for Test.

Table 1 Dimensions of Motorcycles.

	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	AT1	AT2
Engin	4 Stroke	4 Stroke	4 Stroke	4 Stroke	4 Stroke	4 Stroke	2 Stroke
Displacement (L)	1.156	0.748	0.399	0.399	0.249	0.248	0.049
weight (kg)	280	260	180	180	151	185	73
Front Tire Size	120/70R17	110/80R17	120/60R17	120/60R17	110/70R17	110/90R13	90/90R10
Rear Tire Size	180/55R17	140/80R17	160/60R17	160/60R17	140/70R17	140/70R13	90/90R10
Transmission Gear Ratio	6th	—	1.130	0.851	0.892	—	—
	5th	0.833	1.083	0.961	1.000	—	—
	4th	0.956	(Not Tested)	1.125	1.160	—	—
	3rd	(Not Tested)	1.450	(Not Tested)	(Not Tested)	—	—
Primary Reduction Gear Ratio	1.565	1.939	2.171	2.620	3.291	2.444	3.153
Secondary Reduction Gear Ratio	3.200	2.812	2.933	3.000	3.428	3.083	3.461

実験ギア：最高ギアおよび一段下のギア

実験回数：各ギアにおいて8～12回

(2) 実験2

実験場所：三重県運転免許センター試験コース

(傾斜なし，乾燥アスファルト路面)

走行速度：80 km/h 以下

実験車両：MT2, MT4, MT5, AT1 および AT2

実験ギア：MT 車は最高ギア，一段下のギアおよび

Fig. 2 The Relations Between Deceleration and Motorcycle Speed.

び二段下のギア。AT車はドライブギア。

実験回数：各ギアにおいて7～9回

なお、いずれの場所での実験においても、実験車両の運転手（体重70 kg）は前傾姿勢により可能な限り空気抵抗の影響を少なくした。

結果および考察

1. 走行速度と減速度の関係

各実験車両の走行速度を惰行区間の進入速度と退出速度の中間値とし、走行速度 V (km/h) と惰行区間の減速度 D (m/s²) の関係を Fig. 2 に示す。なお、Fig. 2 には1回の走行に対して1つのデータがプロットしてあり、以下の図についても同様である。

実験1の結果については傾斜の影響を除くため、以下の式により補正を行った。

$$\frac{1}{2} \times M \times v_0^2 - M \times D \times L - M \times g \times H = \frac{1}{2} \times M \times v_1^2 \quad (1)$$

より、減速度 D について整理し、

$$D = \frac{1}{2 \times L} \times (v_0^2 - v_1^2) - \frac{g \times H}{L} \quad (2)$$

v_0 は惰行区間進入速度 (m/s), v_1 は惰行区間退出速度 (m/s), M は車両質量 (kg), g は重力加速度 (m/s²), L は惰行区間距離 (m), H は惰行開始点を基準とした高低差 (m), 上り勾配が正) である。

全ての車両において走行速度と減速度には強い相関がみられ、走行速度が高くなるほど減速度が高く（数値の絶対値が大きくなる）になっている。これは、走行中の自動二輪車がアクセルをオフにした場合に駆動輪の回転によりエンジンを回すこととなり、エンジンの回転が抵抗となるためである。エンジン回転時の負荷はエンジン回転数に比例し、MT車のエンジン回転数は走行性能線図¹¹⁾にも表されるように車両の走行速度と比例関係にある。このため、アクセルをオフにした場合の減速度が車両の走行速度と比例する。

一方で、走行速度が低い場合に走行速度と減速度の関係が比例関係から外れ、エンジンブレーキによる減速の効果が小さくなっている。これは、走行中

の自動二輪車のアクセルをオフにしてエンジン回転数が低下しても、アイドリング時の回転数に近づくとエンジンの回転が駆動力として作用するためである。

走行速度と減速度が比例関係にある速度については車両により異なるが、本研究による車両及びギアでは、Fig. 2 より50 km/h以上の走行速度において走行速度と減速度が比例関係で表されると考えた。そこで、Fig. 3 にMT車の走行速度50 km/h以上の走行速度と減速度の関係を同一グラフに示し、Table 2 に各条件での走行速度と減速度についての近似式を示す。

各条件での近似式で高い相関係数を示しており、走行速度50 km/h以上では走行速度と減速度に比例関係があると考えられる。そこで、250 cc から1200 cc までのMT車における走行速度 V (km/h) と減速度 D (m/s²) の関係について、本研究の測定値をすべて含む実験式として以下の式を得た。

$$D = (-0.0131 \sim -0.0207) \times V \quad (3)$$

2. 交通事故解析への応用

エンジンブレーキ中の減速度が走行速度によって大きく変化するため、長距離を減速中の車両や走行速度が不明である場合についてはFig. 3 およびTable 2 のデータを交通事故解析に適用することは困難である。そこで、本研究では得られたデータの交通事故解析への応用について検討した。

Fig. 3 The Relations Between Deceleration and MT Motorcycle Speed.

Table 2 Formulate to Estimate the Deceleration D from Motorcycle Speed V over 50 km/h (MT Motorcycles).

Motorcycle	Gear			
	6th	5th	4th	3rd
MT1	—	$D = -0.0145 V$ ($R^2 = 0.915$)	$D = -0.0150 V$ ($R^2 = 0.949$)	(Not Tested)
MT2	—	$D = -0.0165 V$ ($R^2 = 0.976$)	$D = -0.0177 V$ ($R^2 = 0.983$)	$D = -0.0200 V$ ($R^2 = 0.961$)
MT3	$D = -0.0183 V$ ($R^2 = 0.972$)	$D = -0.0183 V$ ($R^2 = 0.919$)	(Not Tested)	(Not Tested)
MT4	$D = -0.0177 V$ ($R^2 = 0.896$)	$D = -0.0178 V$ ($R^2 = 0.965$)	$D = -0.0200 V$ ($R^2 = 0.987$)	(Not Tested)
MT5	$D = -0.0139 V$ ($R^2 = 0.944$)	$D = -0.0147 V$ ($R^2 = 0.959$)	$D = -0.0170 V$ ($R^2 = 0.880$)	(Not Tested)

式(3)から、走行速度50 km/h 以上において速度と減速度が比例関係へ近似されており、走行速度 v (m/s)、定数 k を用いて以下の式を仮定した。

$$D = k \times v \quad (4)$$

ここで、位置エネルギーを考慮しないエネルギー保存則より、

$$\frac{1}{2} \times M \times v_0^2 - M \times D \times L = \frac{1}{2} \times M \times v_1^2 \quad (5)$$

が成り立ち、代表速度を $v = (v_0 + v_1)/2$ と定義し、式(4)および式(5)を用いると、

$$\frac{v_0 - v_1}{L} = \frac{2}{v_0 + v_1} \times D = k \quad (6)$$

が導かれる。

式(6)は単位距離を走行した間の速度変化 ($= (v_0 - v_1)/L$) が定数 ($= k$) であることを示している。そこで、単位距離当たりの速度変化 $\Delta V/\Delta L$ (km h⁻¹ m⁻¹) を定義し、走行速度との関係について整理した。その結果を Fig. 4 に、MT 車について同一グラフにまとめたものを Fig. 5 に示す。なお、傾斜のない実験 2 については走行実験データから $\Delta V/\Delta L$ を直接算出し、実験 1 の値については式(2)より傾斜の影響を補正した減速度をもとに式(6)により算出した。また、走行速度50 km/h 以下のデータについても Fig. 4 及び Fig. 5 に示した。

Fig. 4 から、MT 車は走行速度が50 km/h 以上の場合には単位距離当たりの速度変化がおおむね一定となることが確認された。つまり、単位距離当たりの速度変化は速度依存性が低く、エンジンプレーキにより減速した区間が判明すれば、その間での速度

変化が算出可能であると考えられた。

走行速度50 km/h 以上における250 cc から1200 cc までの MT 車の単位距離当たりの速度変化について、本研究の測定値をすべて含む値の範囲は0.169 ~ 0.269 (km h⁻¹ m⁻¹) であった (Fig. 5)。また、各車両について走行速度50 km/h 以上における単位距離当たりの速度変化の平均値を Table 3 に示す。

一方、走行速度が50 km/h 以下においては、単位距離当たりの速度変化が一定とならないことが確認された。MT 車については、走行速度が低下すると単位距離当たりの速度変化が小さくなり、AT 車では単位距離当たりの速度変化が大きくなった。

このため、本研究のデータを使用する場合にはエンジンプレーキがどの程度の速度まで行われていたかに注意し、適用する場合には十分な検討が必要となる。

結 言

二輪車のエンジンプレーキ性能を調査するため複数の車両を用いた惰行試験を行い、以下の結論を得た。

- (1) エンジンプレーキによる減速度 D (m/s²) と走行速度 V (km/h) には強い相関があり、MT 車では走行速度50 km/h 以上において

$$D = k \times V$$

と近似できる。

本研究における排気量250~1200 cc クラスの MT 車では $k = -0.0131 \sim -0.0207$ となった。

- (2) MT 車は、走行速度が50 km/h 以上の場合に

Fig. 4 The Relations Between Speed Change per Unit Distance and Motorcycle Speed.

Fig. 5 The Relations Between Speed Change per Unit Distance and MT Motorcycle Speed.

Table 3 Average of Speed Change per Unit Distance over 50 km/h (MT Motorcycles).

Motorcycle	Gear			
	6th	5th	4th	3rd
MT1	—	0.187	0.191	(Not Tested)
MT2	—	0.215	0.228	0.260
MT3	0.235	0.237	(Not Tested)	(Not Tested)
MT4	0.225	0.229	0.260	(Not Tested)
MT5	0.181	0.191	0.221	(Not Tested)

($\text{km h}^{-1} \text{m}^{-1}$)

はエンジンプレーキ中の単位距離当たりの速度変化がおおむね一定となる。

本研究における排気量250～1200 cc クラスのMT車では、エンジンプレーキ中の単位距離当たりの速度変化は0.169～0.269 ($\text{km h}^{-1} \text{m}^{-1}$)となった。

- (3) 走行速度が50 km/h 以下におけるエンジンプレーキ中の単位距離当たりの速度変化は、MT車では小さくなりAT車では大きくなった。このため、エンジンプレーキによる減速が50 km/h 以下まで行われている場合には、本研究の

データの適用に注意を要する。

参考文献

- 1) 上山 勝, 斎藤修二, 牧下 寛, 最上和生, 石山昱夫. 衝突実験による自動二輪車の破損挙動と衝突速度の推定. 科学警察研究所報告法科学編, **41**, 56–66, 1988.
- 2) 中谷 有, 西本哲也. 二輪車事故の鑑定手法—二輪車対四輪車の衝突ケース—. 自動車研究, **26**, 633–640, 2004.
- 3) 山崎俊一, 久保田正美. 二輪車事故の速度解析. 自動車研究, **27**, 155–160, 2005.
- 4) 西本哲也, 逸見和生. 実車衝突実験による中型, 小型, 原付スクータの速度鑑定方法の提案. 自動車研究, **24**, 161–164, 2002.
- 5) 小出健次, 児玉智章, 中島 浩, 颯田義康. 転倒滑走する二輪車と四輪車の衝突実験. 日本法科学技術学会誌, **12**, 159–165, 2007.
- 6) Warner C. Y., Smith G. C., James M. B., and Germane G. J., Friction Applications in Accident Reconstruction. *SAE Technical Paper*, No.830612, 1983.
- 7) Day T. D. and Smith J. R., Friction Factors for Motorcycle Sliding on Various Surfaces. *SAE Technical Paper*, No.840250, 1984.
- 8) Lambourn R. F., The Calculation of Motorcycle Speeds from Sliding Distances. *SAE Technical Paper*, No.910125, 1991.
- 9) Medwell C. J., McCarthy J. R. and Shanahan M. T., Motorcycle Slide to Stop Tests. *SAE Technical Paper*, No.970963, 1997.
- 10) 森下順治, 寺辻英治. 交通事故解析に必要な自動二輪車の車両性能—発進性能および減速性能について—. 日本交通科学協議会誌, **3**, 83–86, 2003.
- 11) 社団法人自動車技術会編. 新編 自動車工学便覧, pp. 17–25, 図書出版社, 東京, 1984.