

二輪車乗員の質量が衝突速度解析に及ぼす影響^{*1}

Influence of Rider Mass on the Crash-Speed Analysis

山崎 俊一^{*2}
Shunichi YAMAZAKI

久保田 正美^{*3}
Masami KUBOTA

山田 喜久司^{*4}
Kikuzi YAMADA

1. はじめに

二輪車事故では、四輪車が右折するとき二輪車と衝突する形態が多く見られる。右折する四輪車が直進する二輪車に気付かず衝突することが多いが、四輪車の運転手は、右折できると思ったが、二輪車の速度が速かったため衝突したと供述し、裁判で争う場合が多い。

二輪車事故の速度解析には、二輪車の乗員質量は考慮しないで運動量保存則およびエネルギー保存則を用いてきたのが一般的である。二輪車事故の速度解析において、乗員の質量をどのように考慮すべきか課題であった。

本報では、二輪車と四輪車が衝突した場合の衝突速度算出における乗員質量の影響について報告する。

2. 試験条件

試験は、走行中の四輪車の側面に二輪車を直角に衝突させた。二輪車は、50ccクラス原動機付自転車（以下、「原付自転車」という）および自動二輪車250ccクラスを用い、各二輪試験車において、二輪車乗員（ダミー：質量75kg）を搭載した場合としない場合の衝突実験を行った。図1は、牽引装置に装着した原付自転車および自動二輪車の状況を示している。



図1 牽引装置に装着した試験車の状況

*1 原稿受理 2008年3月18日

*2 (財)日本自動車研究所 安全研究部 博士(工学)

*3 (財)日本自動車研究所 安全研究部

*4 警視庁交通捜査課

試験の車両形状別実験番号一覧並びに衝突形態を表1および表2に示す。

表1 車両形状別実験番号一覧（二輪車）

実験No.	乗員	車両形状	指定衝突速度
07-5A	無し	ホンダディオ 50cc	50km/h
07-6A	有り	ホンダディオ 50cc	
07-7A	無し	ホンダ VTZ250	
07-8A	有り	ホンダ VTZ250	

表2 車両形状別実験番号一覧（四輪車）

実験No.	衝突部位	車両形状	指定衝突速度
07-5B	左側面	日産 ローレル	25km/h
07-6B	左側面	日産 ローレル	
07-7B	右側面	日産 ローレル	
07-8B	右側面	日産 ローレル	

また、衝突形態の例を図2に示す。原付自転車は、四輪車の左側面に衝突させ、自動二輪車は四輪車の右側面に衝突させた。

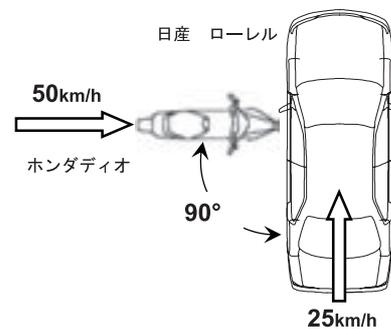


図2 衝突形態の例（07-5ケース）

なお、原付自転車および自動二輪車の進路を衝突角度0°とし、四輪車の衝突角度を90°とした。ダミーの質量は、75kgである。

試験車両の諸元を表3および表4に示す。

表3 試験車両（二輪車）の諸元

実験No.	質量 (kg)	全長 (mm)	軸間 (mm)	全幅 (mm)	全高 (mm)
07-5A	68	1,675	1,140	615	995
07-6A	68	1,675	1,140	615	995
07-7A	150	2,035	1,370	715	1,070
07-8A	150	2,035	1,370	715	1,070

表4 試験車両（四輪車）の諸元

実験No.	質量 (kg)	全長 (mm)	軸間 (mm)	全幅 (mm)	全高 (mm)
07-5B	1,296	4,710	2,730	1,720	1,380
07-8B					
07-6B	1,295	4,710	2,720	1,720	1,380
07-7B					

3. 実施内容

四輪車では衝突の瞬間を0msとすると車体の変形は100msの間でほぼ終了し、変形終了後、車両がある方向に飛び出す。四輪車のシートベルト非着用の乗員は、車体変形終了前に車室内の構造物へ衝突する。シートベルト着用の乗員は変形が終了する前の50~70msの間にベルトにより拘束されるため、乗員重量は車体変形に影響を及ぼす。

二輪車乗員は、ベルト等に拘束されることがないため、衝突時の形態によって、乗員質量の影響を考察する必要がある。

本試験では、二輪車乗員の有無による二輪車軸間距離などの変形の差異、四輪車の衝突部位の車体変形および車体飛び出し角度の差異を明らかにし、運動量保存則およびエネルギー保存則を適用して衝突速度を求め、二輪車乗員質量の影響を明らかにした。

4. 衝突速度の算出

衝突速度は、運動量保存則およびエネルギー保存則を用いて求める。

- ・乗員質量を考慮しない場合の運動量保存則は、次式で表される。

$$m_A V_A \cos \beta_A + m_B V_B \cos \beta_B = m_A V_{slipA} \cos \alpha_A + m_B V_{slipB} \cos \alpha_B \quad (1)$$

$$m_A V_A \sin \beta_A + m_B V_B \sin \beta_B = m_A V_{slipA} \sin \alpha_A + m_B V_{slipB} \sin \alpha_B \quad (2)$$

- ・二輪車乗員の質量を考慮した場合は、次式となる。

$$(m_A + m_\lambda) V_A \cos \beta_A + m_B V_B \cos \beta_B = m_A V_{slipA} \cos \alpha_A + m_B V_{slipB} \cos \alpha_B \quad (3)$$

$$(m_A + m_\lambda) V_A \sin \beta_A + m_B V_B \sin \beta_B = m_A V_{slipA} \sin \alpha_A + m_B V_{slipB} \sin \alpha_B \quad (4)$$

ただし、乗員は、衝突後、衝突位置に停止した場合である。乗員が遠くに飛翔した場合は、持っていたエネルギーが飛翔したエネルギーで費やされるので、式(1)と同じ式となる。よって、運動量保存則で二輪車乗員が影響するのは、最初の運動エネルギー、飛び出し速度、飛び出し角度である。

二輪車事故において、運動量保存則を適用する場合、運動量保存則で四輪車の速度を算出し、その数値を用いてエネルギー保存から二輪車の速度を求めたほうが、精度よくおよび効率よく速度計算ができることに注意が必要である。それは、二輪車の質量が四輪車の質量より小さいためである。

したがって、運動量保存則の二輪車の質量に無関係な式(2)を用いて四輪車の衝突速度を求め、求められた四輪車の衝突速度をエネルギー保存則に代入して、二輪車の速度を求めた。

- ・乗員質量を考慮しない場合のエネルギー保存則は、次式で表される。

$$\frac{1}{2} m_A V_A^2 + \frac{1}{2} m_B V_B^2 = E_{barrierA} + E_{barrierB} + E_{slipA} + E_{slipB} \quad (5)$$

- ・二輪車乗員の質量を考慮した場合は、式(2)と同様に乗員が飛翔しないと考えると次式となる。

$$\frac{1}{2} (m_A + m_\lambda) V_A^2 + \frac{1}{2} m_B V_B^2 = E_{barrierA} + E_{barrierB} + E_{slipA} + E_{slipB} \quad (6)$$

ただし、 V_A =A車の衝突速度
 V_B =B車の衝突速度
 m_A =A車質量
 m_B =B車質量
 m_A =二輪車乗員の質量
 β_A =A車の衝突角度
 β_B =B車の衝突角度
 α_A =A車の飛び出し角度
 α_B =B車の飛び出し角
 V_{slipA} =A車の飛び出し速度
 V_{slipB} =B車の飛び出し速度
 $V_{barrierA}$ =A車のバリア換算速度
 $V_{barrierB}$ =Bのバリア換算速度
 である。

5. 試験結果

5.1 原付自転車 (50cc)

図3は、原付自転車乗員の有無による四輪車の変形の差異を示したものである。



(a) 乗員無し (b) 乗員有り
 図3 乗員の有無による四輪車の変形の差異

この図から、原付自転車の乗員が有りの場合は、四輪車の車体変形が大きいことがわかる。

図4は、原付自転車の乗員の有無による軸間距離の縮小の差異を示したものである。



(a) 乗員無し (b) 乗員有り
 図4 乗員の有無による軸間距離の縮小の差異

この図から、原付自転車の乗員が有りの場合は、軸間距離の縮小が大きいことがわかる。

表5および表6は、原付自転車 (50cc) 乗員の有無による原付自転車および四輪車の各測定値の差異についてまとめたものである。両ケースを比較すると原付自転車では、乗員有りのほうが乗員無しよりも軸間縮小量で60mm、四輪車の吸収エネルギー量で約4倍大きく、バリア換算速度にすると2倍大きいことがわかった。その他の数値に大きな差異は見られなかった。

表5 乗員の有無による原付自転車の測定値

項目	乗員無し	乗員有り
軸間縮小量[mm]	100	160
吸収エネルギー[J]	1666.0	6759.5
バリア換算速度[m/s]	7	14.1
飛び出し角度 [deg]	355°	355°
前輪スリップ痕長 [m]	0.6	0.5
衝突後移動距離 [m]	1.5	1.7
飛び出し速度[m/s]	4.1	4.2

表6 乗員の有無による四輪車の測定値

項目	乗員なし	乗員あり
吸収エネルギー[J]	3557.9	6820.1
バリア換算速度[m/s]	2.3	3.2
飛び出し角度 [deg]	274°	274°
スリップ痕長 [m]	/	3.2
移動距離 [m]	7.5	6.1
飛び出し速度[m/s]	7.2	6.9

図5は、原付自転車乗員の有無による衝突状況の差異を示したものである。



(a) 乗員無し (b) 乗員有り
 図5 衝突後100ms時の車両の挙動

この図から、衝突開始から100ms後には、四輪車の進行方向に回転移動を始めている。よって、衝突開始から100ms後には、原付自転車のフロントフォークの変形が終了していることが確認できる。

原付自転車の前輪が四輪車に衝突する場合は、原付自転車は必ずフロントフォークの曲損と前輪の変形が生じる。原付自転車の乗員の有無によって軸間距離の縮小量に大きな違いが生じていることは乗員質量が影響していると言える。

5.2 自動二輪車 (250cc)

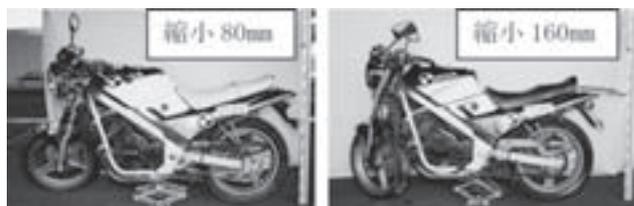
図6は、自動二輪車乗員の有無による四輪車の変形の差異を示したものである。



(a) 乗員無し (b) 乗員有り
図6 乗員の有無による四輪車の変形の差異

この図から、自動二輪車の乗員が有りの場合は、四輪車の車体変形が大きいことがわかる。

図7は、自動二輪車乗員の有無による軸間距離の縮小の差異を示したものである。



(a) 乗員無し (b) 乗員有り
図7 乗員の有無による軸間距離の縮小の差異

表7および表8は、自動二輪車 (250cc) 乗員の有無による自動二輪車および四輪車の各測定値の差異についてまとめたものである。両ケースを比較すると自動二輪車の乗員有りのほうが乗員無しよりも軸間縮小量としては80mm大きく、吸収エネルギーでは、約1.9倍の値を示している。バリア換算速度にすると約1.4倍の値となった。また、自動二輪車の乗員有りの場合は、燃料タンクが大きく凹損した。その他の数値はほとんど大きな違いは見られなかった。

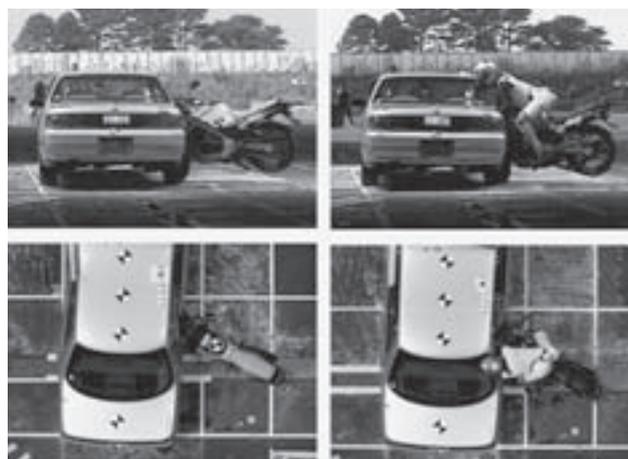
表7 乗員の有無による自動二輪車の測定値

項目	乗員無し	乗員有り
軸間縮小量 [mm]	80	160
吸収エネルギー [J]	4107	7803
バリア換算速度 [m/s]	7.4	10.2
飛び出し角度 [deg]	5°	3°
スリップ痕長 [m]	0.6	0.7
移動距離 [m]	0.8	1.3
飛び出し速度 [m/s]	3.4	4.1

表8 乗員の有無による四輪車の測定値

項目	乗員無し	乗員有り
吸収エネルギー [J/m]	935.9	1151.7
バリア換算速度 [m/s]	2.6	2.9
飛び出し角度 [deg]	80°	80°
衝突後移動距離 [m]	6.1	6.7
飛び出し速度 [m/s]	7.1	7.1

図8は、自動二輪車乗員の有無による衝突状況の差異を示したものである。



(a) 乗員無し (b) 乗員有り
図8 衝突後100ms時の車両の挙動

この図から、衝突開始から100ms後には、四輪車の進行方向に回転移動を始めている。よって、衝突開始から100ms後には、すでに自動二輪車のフロントフォークの変形が終了していることが確認できる。

両ケースにおける測定数値による軸間距離の縮小量の違いは、乗員が燃料タンクに衝突したため差が生じたものと考えられる。乗員の股間部が燃料タンクに衝突し、タンクに凹損を生じさせた乗員挙動は60msから80msの間であり、100ms以内に

発生した挙動であることから、車体変形に影響を与えていると考えられる。

両ケースの四輪車の凹損量を比較すると、自動二輪車の乗員が有りのほうが凹損は大きいですが、吸収エネルギー量で約1.2倍、バリア換算速度ではわずかに+0.3m/sの違いとなっている。

6. 衝突速度計算に二輪車の乗員質量を考慮する方法

6.1 原付自転車

6.1.1 原付自転車乗員の質量を考慮しない場合の衝突速度算出

原付自転車乗員の質量を考慮しない場合は、前述の式(2)および式(5)を用いる。

これらの式に表1～表6の数値を代入して、原付自転車および四輪車の衝突速度を求めると四輪車の衝突速度は24.8km/h、原付自転車の衝突速度は71.3km/hと求められる。原付自転車の実際の衝突速度は、約49.8km/hであるから、質量を考慮しない計算結果は誤差が大きいことがわかる。

6.1.2 原付自転車乗員の質量を考慮する場合の衝突速度算出

原付自転車乗員の質量を考慮する場合は、前述の式(2)と式(6)を用いる。

これらの式に表1～表6の数値を代入して、原付自転車および四輪車の衝突速度を求めると四輪車の衝突速度は24.8km/h、原付自転車の衝突速度は49.3km/hと求められる。原付自転車の実際の衝突速度は、約49.8km/hであるから、質量を考慮すると計算値は実験値とよく一致する。

以上のことから、原付自転車の衝突速度を求めるには、原付自転車の乗員の質量を考慮した式(6)を用いるとよいことがわかった。

6.2 自動二輪車

6.2.1 自動二輪車乗員の質量を考慮しない場合の衝突速度算出

自動二輪車乗員の質量を考慮しない場合は、前述の式(2)および式(5)を用いる。

これらの式に表1～表4および表7～表8の数値を代入して、自動二輪車および四輪車の衝突速度を求めると四輪車の衝突速度は25.2km/h、自動二輪車の衝突速度は51.5km/hと求められる。自動二輪

車の実際の衝突速度は、約48.5km/hであるから、質量を考慮しない計算結果は若干の誤差があることがわかる。

6.2.2 自動二輪車乗員の質量を考慮する場合の衝突速度算出

自動二輪車乗員の質量を考慮する場合は、前述の式(2)と式(6)を用いる。

これらの式に表1～表4および表7～表8の数値を代入して、自動二輪車および四輪車の衝突速度を求める。しかしながら、自動二輪車の場合は、乗員が自動二輪車の燃料タンクに股間が衝突し、燃料タンクが乗員の運動エネルギーを吸収している。つまり、自動二輪車乗員の質量による運動エネルギーがすべて自動二輪車の軸間距離や四輪車の凹損吸収エネルギーに影響するのではなく、燃料タンクも乗員の運動エネルギーを吸収している。そこで、燃料タンクのエネルギー吸収がどれくらいであるのかを厳密に求めることは困難であるから、ここでは、乗員質量による運動エネルギーを燃料タンクの変形によって吸収されるかを調べるために、式(6)のm人の乗員質量に影響係数Kをかけてその影響係数Kを求めた。

$$\frac{1}{2}(m_A + Km_\lambda) V_A^2 + \frac{1}{2} m_B V_B^2 = E_{\text{barrierA}} + E_{\text{barrierB}} + E_{\text{slipA}} + E_{\text{slipB}} \quad (7)$$

ただし、四輪車の速度は、式(2)から自動二輪車の質量に関係なく25.2km/hである。

a) K=1 (燃料タンクの凹損が乗員の運動エネルギーを吸収しない)

K=1として、式(6)から自動二輪車の衝突速度を求めると次式となる。

$$V_A = 42.8 \text{ km/h}$$

乗員の質量をすべて考慮すると、衝突速度が実際の衝突速度48.5km/hより低く計算されることがわかる。

b) K=1/2 (燃料タンクの凹損が乗員の運動エネルギーを半分吸収する)

K=1/2として、式(6)から自動二輪車の衝突速度を求めると次式となる。

$$V_A = 46.1 \text{ km/h}$$

乗員の質量を半分考慮すると、衝突速度が実際の衝突速度48.5km/hより若干低く計算されることがわかる。K=1よりも計算結果は改善されることがわかる。

c) K=1/3 (燃料タンクの凹損が乗員の運動エネルギーを2/3吸収する)

K=1/3として、式(6)から自動二輪車の衝突速度を求めると次式となる。

$$V_A = 47.5 \text{ km/h}$$

乗員の質量を1/3考慮すると、衝突速度が実際の衝突速度48.5km/hとほぼ一致することがわかる。

これは、自動二輪車乗員が自車の燃料タンクに股間部を衝突させ、燃料タンクを凹損させたことにより、自動二輪車乗員の運動エネルギーが約2/3吸収されたと考えることができる。

7. まとめ

本報では、原付自転車および自動二輪車の乗員の質量が、衝突速度に及ぼす影響について述べた。得られた結果についてまとめる。

- 1) 二輪車乗員の質量は、衝突現象に影響がある。
- 2) 二輪車の衝突速度解析は、運動量保存則により、二輪車の乗員の有無に関係なく四輪車の速度を求め、四輪車の衝突速度を乗員質量を考慮したエネルギー保存則に代入して、二輪車の衝突速度を求めると精度のよい結果が得られる。
- 3) 乗員質量を考慮したエネルギー保存則は以下の式で与えられる。

$$\frac{1}{2}(m_A + Km_A) V_A^2 + \frac{1}{2} m_B V_B^2 = E_{\text{barrierA}} + E_{\text{barrierB}} + E_{\text{slipA}} + E_{\text{slipB}}$$

ただし、Kは、乗員の質量係数で、原付自転車は、K=1である。

自動二輪車の燃料タンクが凹損している場合は、K=1/3である。

自動二輪車の燃料タンクが凹損していない場合は、K=0である。