

論文・解説

25

コンパティビリティ性能の車両構造解析 Vehicle Structure Analysis of Compatibility Performance

福島正信*¹ 藤井真司*² 安部晶子*³ 尾川茂*⁴
 Masanobu Fukushima Shinji Fujii Akiko Abe Shigeru Ogawa
 藤田英治*⁵ 砂川孝之*⁶ 田中由起子*⁷
 Hideharu Fujita Takayuki Sunakawa Yukiko Tanaka

要約

市場における車対車の事故による死傷者を低減するためには、正面衝突・側面衝突などのさまざまな衝突形態に加えて、大型車や小型車などの車格差がある場合に、衝突時の生存空間をどう確保するかが重要な課題である。これを解決するためには重量や車体剛性の他に、サイドメンバ高さの違いなどのジオメトリを考慮した車体構造の開発が必要となる。本研究では、ペリメータフレームのある車両とペリメータフレームのないサスクロスタイプの車両の前面衝突で、サイドメンバ高さを変化させたパラメータスタディにより、コンパティビリティ性能をCAE解析で比較検討した。車体変形の発生メカニズムを車両のエネルギー吸収量と荷重伝達経路から解析的に明らかにした結果、ペリメータフレーム構造は車体変形が小さく、サイドメンバ高さの違いによる影響も受け難く自車の保護性能を確保するうえで有利な構造であることがわかった。

Summary

The key to reduce casualties in the real-world vehicle-to-vehicle crashes is to secure sufficient occupant survival space. The survival space should constantly be secured regardless of vehicle size differences and crash mode differences such as full frontal crash and side crash, etc. To realize this, vehicle structure should be developed in due consideration of geometry such as side member height differences, in addition to weight and stiffness differences. A parametric study with respect to side member height differences was conducted by CAE to evaluate frontal crash compatibility performance when a vehicle with a perimeter frame collides with a suspension cross member type, that is, a normal type without a perimeter frame. A vehicle deformation mechanism has been clarified analytically on the basis of vehicle energy absorption amount and load path. The result shows that perimeter frame structure is superior to the normal type in self-protection performance from the viewpoint of small body deformation and less influence by a side member height difference.

1. はじめに

市場の車対車衝突事故による死傷者を低減するには、衝突時における自車の保護性を高めるとともに相手車両への加害性を低減することが重要となる。この両者を満足することをコンパティビリティと言い、Fig.1に示すような市場のあらゆる車対車衝突事故における死傷者数の低減には、コンパティビリティ性能が高い車の開発が必要である。この背景となる市場事故のうち、米国ではミニバンや

SUVなどの車高が高いLTV (Light Truck and Van) 系の車の保有率が40%にせまり、LTVが関与した車対車衝突の死亡事故は全体の70%近くを占めており、このうちLTV対乗用車の前面衝突事故での死亡者数は、乗用車側がLTVの3から6倍にも達している¹⁾。このため米国ではLTVの加害性低減が課題となっている。また、日本では1998年から2000年の交通事故総合分析センターの衝突部位別乗員死傷台数情報を分析すると乗用車の車対車前面衝突が衝突方向別死亡割合の68%を占めている。LTVの保有率は米国より

* 1 ~ 4 衝突性能開発部
Crash Safety Development Dept.

* 5 ~ 7 CAE部
CAE Dept.

少なく18%程度であることから、日本では乗用車同士の車対車衝突において軽を含む小型乗用車の保護性能向上が重要といえる²⁾。

コンパティビリティ性能の向上には、両車の客室生存空間を保てるように衝突エネルギーを両車で分担し合うことが重要である。一方、コンパティビリティ性能を左右する要素に、①バンパーやサイドメンバの相互位置関係を示すジオメトリ、②車体の剛性、③衝突時の総エネルギーを決める重量があり、これらの要素について相手車両を考慮して改善することが必要である。

乗用車同士の衝突では、バンパーやサイドメンバ高さがほぼ同じであるため剛性が重要な要素となる。一方LTVと乗用車の衝突では、LTVは乗用車よりサイドメンバ位置が高いため、いわゆる乗用車の潜り込み現象を発生させる。したがって、これを防止するにはジオメトリ差をなくすことが最優先課題となる。

本報告では、このジオメトリの課題に対応するため、荷重伝達経路（以下ロードパス）数が増加するペリメータフレーム（以下ペリメータ）構造に着目し、サイドメンバ高さが異なる車対車衝突の内、ペリメータのない車（以下ノーマル車）がペリメータのある車（以下ペリメータ車）に潜り込む場合についてペリメータの効果もCAEで検討した。

2. コンパティビリティ性能改善の考え方

法規やNCAP（New Car Assessment Program）で採用されている現行の衝突試験法は自車の保護性能の向上を主目的としており、フルラップ前突は同一車同士、オフセット前突は衝突する相手車を小型乗用車と想定し、Fig.2に示す形態で実施している。これらの試験により前突性能は近年飛躍的に向上したが、市場事故全体では、Fig.1に示したように多様な車両同士が衝突するため、従来の試験方法だけではコンパティビリティ性能を評価し改善することは難しい。

コンパティビリティ性能向上の目的である乗員の死亡重

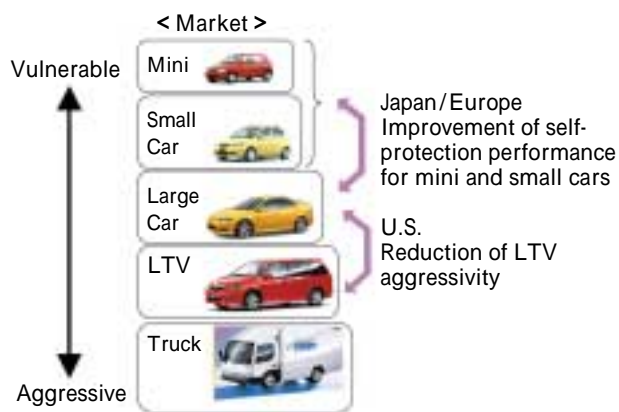


Fig.1 Ideal Safety in the Market

傷者を低減するには、ステアリングなど車室内部品と乗員の強干渉を防ぐために生存空間を確保することが重要なポイントである。一般的に小さな車は剛性が低く、客室が変形するまでのクラッシュストロークも短い。その結果、大きな車と小さな車の衝突時には、剛性の低い小さな車の客室が変形しやすい傾向にある（Fig.3）。

そこで、小さな車の生存空間を確保するには、小さい車の剛性を高めて、大きな車のエネルギー吸収分担を増やすことで小さな車の車体変形を減少させる必要がある（Fig.4）。

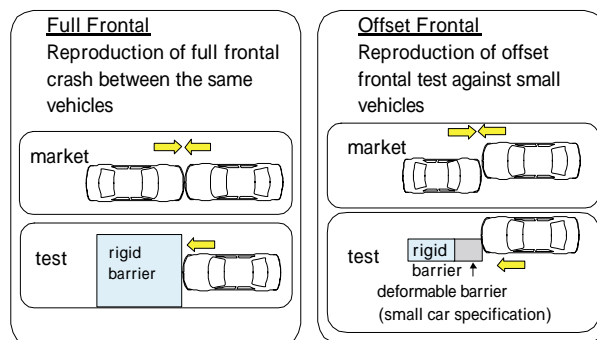


Fig.2 Current Test Method

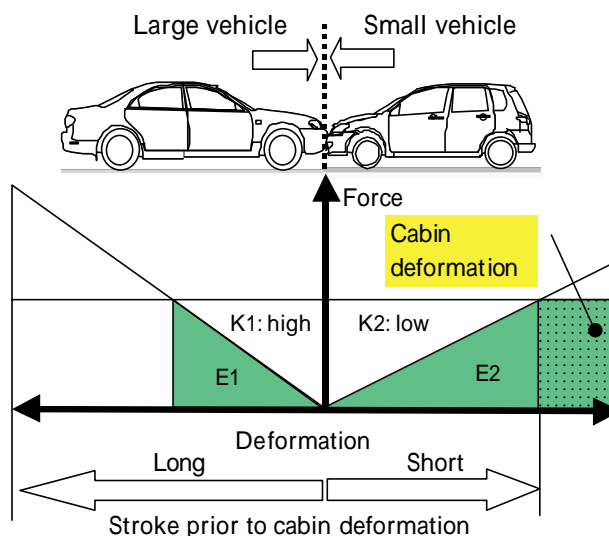


Fig.3 General Vehicle-to-Vehicle Collision

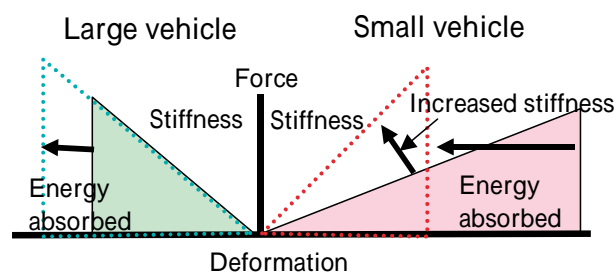


Fig.4 Cabin Protection Concept in Compatibility

ところが、前述のようにコンパティビリティ性能を左右する要因として①ジオメトリ、②剛性、③重量の三つがあげられるが、このうちジオメトリがコンパティビリティ性能を安定させる上で一番重要であると考えられる。この理由は、両車のバンパーやサイドメンバ高さが異なると低い車の潜り込みや高い車の乗り上げ現象が起こり、サイドメンバが狙い通りの変形をせず剛性も低下してしまうからである。つまり、ジオメトリの影響を小さくして、剛性を安定させることがコンパティビリティ性能の改善に有効と考えられる。

3. CAE解析方法

ペリメータ車とノーマル車の車対車衝突シミュレーションをFEAで行った。衝突位置を上下方向に変化させ、高さのジオメトリ差による車体変形への影響を両車のトーボード、ヒンジピラー及びカウルの車両中心における後退量で評価した。

衝突車両解析ソルバーはRADIOSSを使用し、車両モデルは車対車実車衝突テストでコリレーションをとったモデルを用いた。

解析の前提条件として、衝突モードは両車の車両中心軸を合わせたフルラップ前突とした。また、両車の衝突速度は前突事故件数の95%をカバーする55km/hとした³⁾。車両重量についてはジオメトリ差の影響を明確にするため、両車同一とし、重量の影響を除いた。

剛性については両車の車両前部構造が異なり同一特性でないため、高さの差0mmの解析結果をベースに相对比较することとした。

解析パラメータとして、Fig.5に示すように両車のサイドメンバの上下位置関係を選び、同じ高さか、ペリメータ車がノーマル車より高い場合とした。すなわち、

- ① 同一高さである0mm
- ② サイドメンバ断面が半分ラップする+40mm
- ③ サイドメンバ同士が当たらない+100mm

の三つのケースをパラメータにして、構造差による影響を評価した。

4. 解析結果と考察

4.1 解析結果

サイドメンバ高さの差に対するトーボード後退量の解析結果をFig.6、ヒンジピラー後退量をFig.7、カウル後退量をFig.8に示す。これらより、ペリメータ車は各部の後退量の変化が小さいが、ノーマル車はサイドメンバ高さの差が増加すると各部の後退量も増加傾向にあることがわかる。つまり、ジオメトリの変化に対する車体変形の安定性においてノーマル車は不安定な結果となる構造であるが、ペリメータ車は安定した構造で自車の保護性能を高めるポテンシャルがあると考えられる。

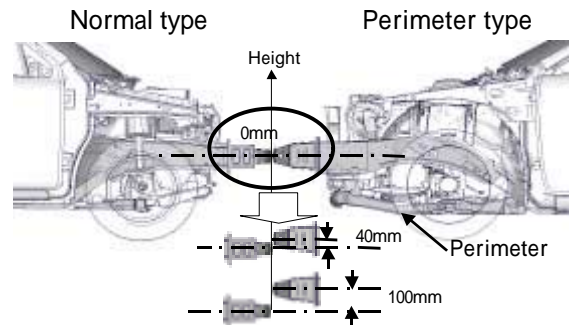


Fig.5 FEA Parameter

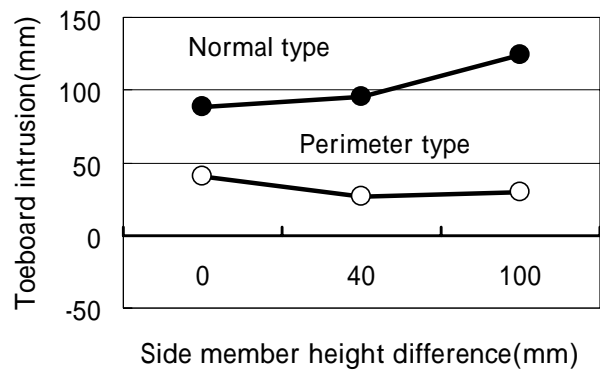


Fig.6 Toeboard Intrusion

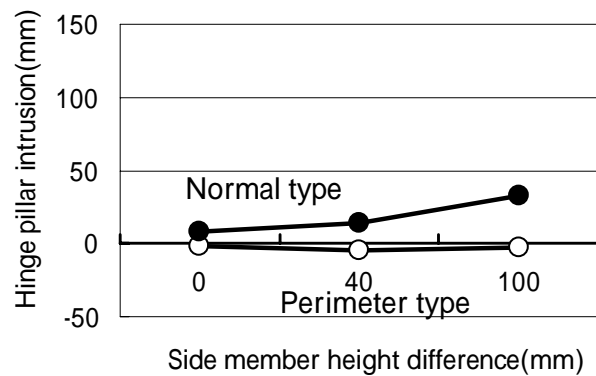


Fig.7 Hinge Pillar Intrusion

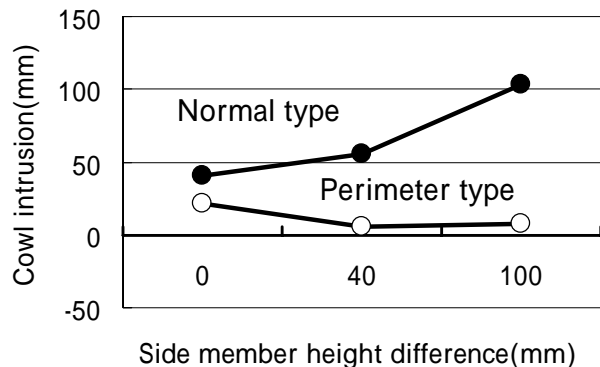


Fig.8 Cowl Intrusion

4.2 メカニズムの解明

(1) エネルギー吸収量

本項では前節の各部の後退量を車体変形の差として扱い、サイドメンバ高さの差が増加するとノーマル車の車体変形量が増加する原因を両車のエネルギー吸収量の分担（以下エネルギー分担）から分析する。

エネルギー吸収量を E 、荷重を F 、変形量を D 、剛性を K として、車対車衝突を単純化した物理モデルをFig.9に示す。また、エネルギー吸収量は車体変形と剛性によって以下の式で関係付けられる。

$$E_1 = (1/2) F \times D_1, \quad E_2 = (1/2) F \times D_2 \quad \text{①}$$

$$E_1 / (E_1 + E_2) = D_1 / (D_1 + D_2) \quad \text{②}$$

ここで $F = K_1 \times D_1 = K_2 \times D_2$ なので

これを②式に代入して

$$E_1 / (E_1 + E_2) = K_2 / (K_1 + K_2) \quad \text{③}$$

を得る。

②式と③式より

$$D_1 / (D_1 + D_2) + K_1 / (K_1 + K_2) = 1 \quad \text{④}$$

となり、車体変形量分担率と剛性分担率の関係が導かれる。

今回の解析では実車衝突で計測できないエネルギー吸収量をFEAモデル全要素のエネルギー吸収量の積算値から算出し求めた。また、車体変形量はサイドメンバ前のバンパーレインフォースメントの後退量を計算結果から求めた。

Fig.10に、ノーマル車の場合について車体変形量分担率

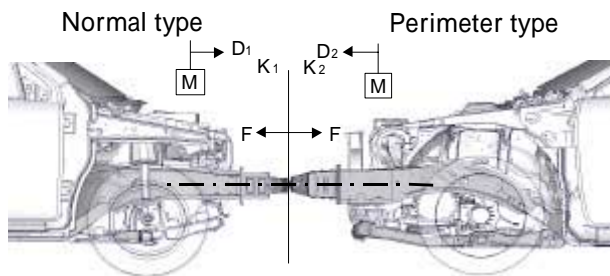


Fig.9 Vehicle-to-Vehicle Collision Model

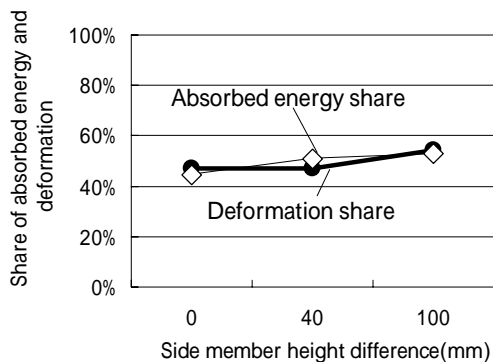


Fig.10 Vehicle Deformation and Energy Share of Normal Type

と、エネルギー分担率を示す。サイドメンバ高さの差が増加するとノーマル車の車体変形量分担とエネルギー分担が増加しており、②式の関係がほぼ成立していることがわかる。よって、車体変形量は吸収したエネルギーに左右されたことがわかる。

また、ノーマル車の車体変形量分担率と剛性分担率の関係は④式で記述される。サイドメンバ高さの差が増加するとノーマル車の車体変形量分担が増加する解析結果を当てはめると、ノーマル車の剛性分担が低下したことがわかる。

以上のことからノーマル車はサイドメンバ高さの差が増加すると剛性が低下し、その結果車体変形量分担率とエネルギー分担率が増加したものと考えられる。

(2) 変形モード

次にノーマル車の剛性低下の原因を変形モードから分析する。

Fig.11とFig.12, Fig.13は、それぞれサイドメンバ高さの差 0 mm, 40mm, 100mmの場合における最大車体潰れ

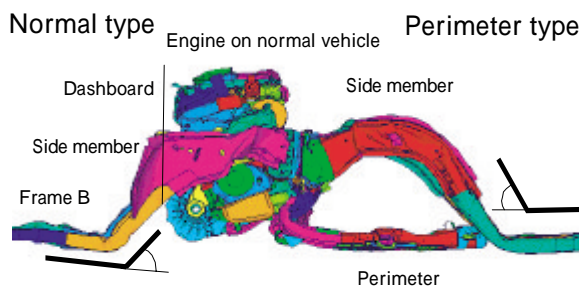


Fig.11 Deformation at 0mm Height Difference

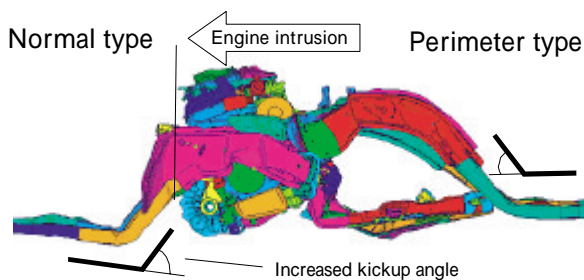


Fig.12 Deformation at 40mm Height Difference

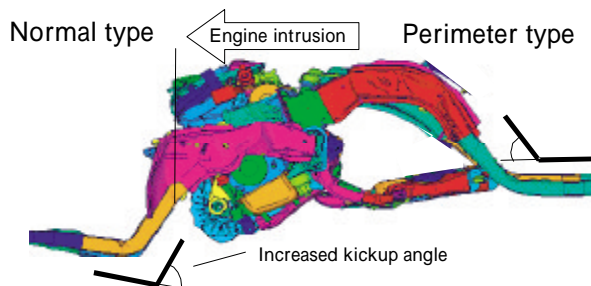


Fig.13 Deformation at 100mm Height Difference

時の解析結果を側面から見たものである。左側はノーマル車で右側はペリメータ車である。Fig.11はサイドメンバ高さの差が0mmの場合で、両車のサイドメンバが相互に変形していることがわかる。しかし、サイドメンバ同士が上下方向でオフセットしているFig.12とFig.13の場合は、ノーマル車のサイドメンバがペリメータ車のサイドメンバの下に潜り込みペリメータと干渉する現象が起きている。この時ペリメータ車のサイドメンバはノーマル車のエンジン部分まで侵入し、左右サイドメンバの前端をつなぐバンパーレインフォースメントがノーマル車のエンジンを押している。

これらの現象をエンジンの後退量とキックアップ角度の変化量で明確にする。エンジンの後退量は、サイドメンバ高さの差の増加に伴ってノーマル車側は増加し、ペリメータ車側は減少している (Fig.14)。またキックアップ角度の変化量は、高さの差0mmの状態を基準にした時、サイドメンバ高さの差の増加に伴ってノーマル車は増加しているが、ペリメータ車は増加していないことがわかる (Fig.15)。

これらをまとめると、ノーマル車はサイドメンバ高さの差が増加すると、後退量が多くなったエンジンがダッシュボードを押し込み、キックアップが立ったため変形量が増加している。したがって④式からノーマル車の変形量が増加したので剛性が低下したと推定できる。

(3) ロードパス

そこで前述の変形モードから推定したノーマル車の剛性低下の原因をロードパスから分析する。

変形モードから推定した主要なロードパスをFig.16に示す。この図では、客室の変形現象を左右両端の片矢印内に示し、ロードパスに大きく影響する部品を四角()で示す。また、各車内部のパスを片矢印()で表し、両車間で相互作用するパスを両矢印()で示している。そして

サイドメンバ高さの差が100mmのときのロードパスについては、図中の①と③はこの高さの差が0mmと同じロードパスの領域を示し、②と④は高さの差が100mmで新たに発生する領域を示している。

サイドメンバ高さの差が0mmの場合はサイドメンバ同士が当たりフレームBに荷重伝達される剛性の高いシンプルなパスとなる。これに対し、サイドメンバ高さの差が

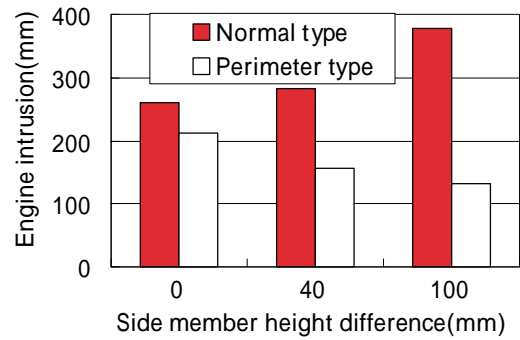


Fig.14 Engine Intrusion

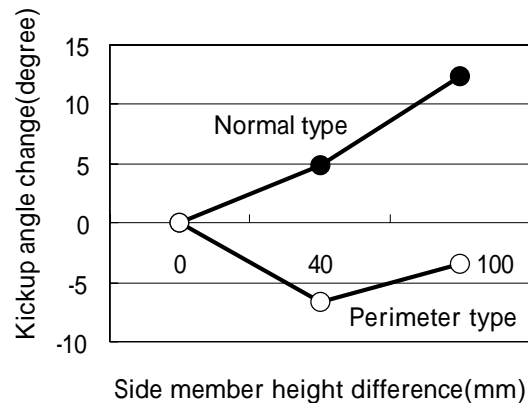


Fig.15 Variation of Kick-up Angle

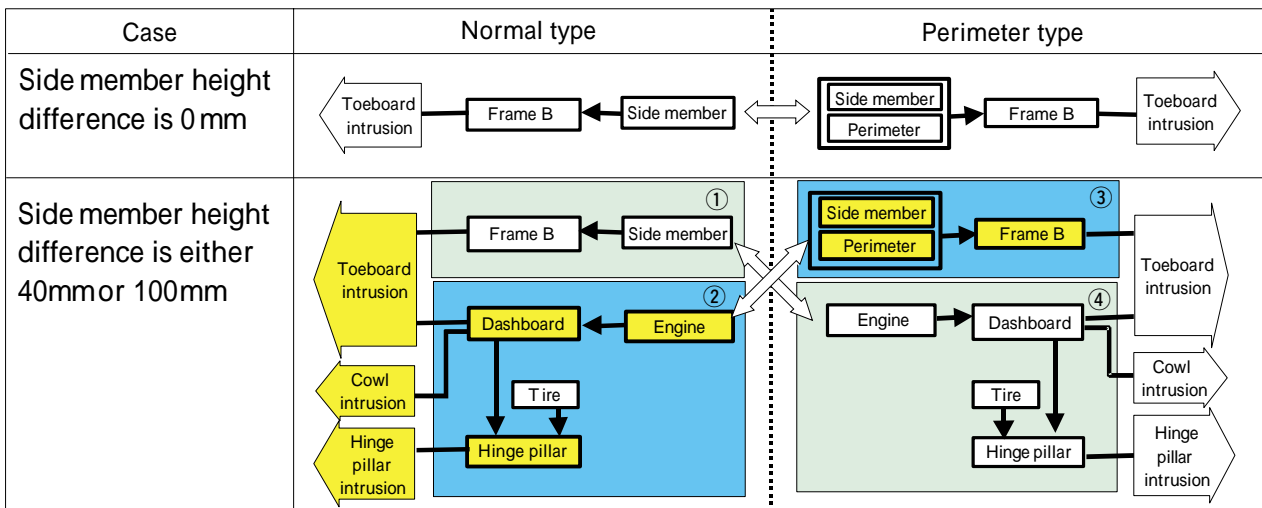


Fig.16 Major Load Path

40mmや100mmの場合は、左右のサイドメンバ前端をつなぐバンパーレイフォースメントを含むサイドメンバが相手車のエンジンに当たり、エンジンがダッシュボードを押し込む剛性の低いパスができ、複雑なロードパスとなる。ノーマル車のトーボード後退につながる①④の関係であるサイドメンバを介してのロードパスと図中の②③の関係であるエンジンを介してのロードパスを比較し、ノーマル車の剛性低下の原因を分析する。

Fig.17はペリメータ車のサイドメンバ高さの差が0mmと100mmの場合についてサイドメンバ、ペリメータ及びフレームBの最大荷重を示す。ノーマル車のサイドメンバとフレームBの最大荷重をFig.18に示す。

ペリメータ車はサイドメンバ高さの差が100mmになると、サイドメンバの荷重は低下するがペリメータ荷重は増加することから二つのロードパスで補っていることがわかる。また、③の領域で示されるフレームBはサイドメンバ高さの差が100mmになるとペリメータ荷重の増加により入力が増えており、両車間で相互作用するロードパスにより②のノーマル車のエンジンを介しての伝達荷重を増加させていることがわかる。

一方、ノーマル車ではサイドメンバ高さの差が100mmになるとFig.16の①の領域で示されるサイドメンバ、フレームBともに荷重が低下していることがわかる。

以上のことより、ノーマル車はサイドメンバ高さの差が増加した場合、①の領域で示される剛性の高い部分であるサイドメンバを介しての伝達荷重が減少し、②の領域で示される剛性の低い部分であるエンジンを介しての伝達荷重が増加することで、車両前部の剛性が低下したといえる。

(4) ペリメータ構造の特徴

以上の変形モードと主要なロードパスの解析結果をまとめて、ペリメータ構造の有利性について述べる。

サイドメンバ高さの差が増加すると、ノーマル車はサイドメンバとエンジンからの入力により、キックアップ上部に大きなモーメントが加わり、キックアップ角度の変化が大きくなる (Fig.19 Normal type)。キックアップ角度の増加は、車体変形量の増加につながり、車体変形量と剛性は互いに補完する関係にあることからノーマル車の剛性は低下する傾向を示す。

これに対し、ペリメータ車は、サイドメンバとペリメータで入力を分散できるためキックアップ上部へ入力するモーメントが小さくなる特徴がある (Fig.19 Perimeter type)。このため、キックアップ角度が安定する結果となり剛性も安定傾向となることがわかった。

また、ペリメータ構造はノーマル車がペリメータ車の下に潜り込む場合に、ノーマル車のサイドメンバと干渉するためノーマル車の潜り込みを抑制している。したがって、ペリメータ構造は相手車の潜り込み防止に効果があると考えられる。

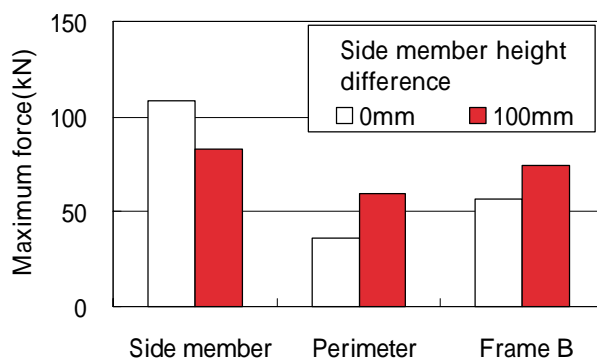


Fig.17 Maximum Force of Perimeter Type

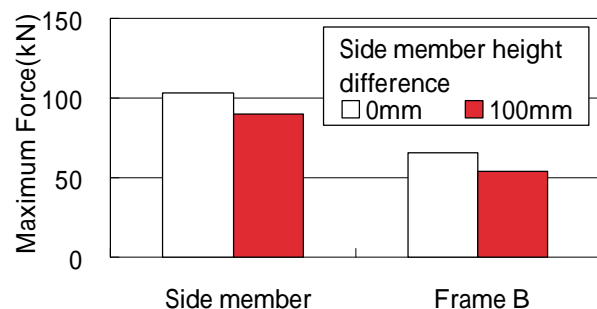


Fig.18 Maximum Force of Normal Type

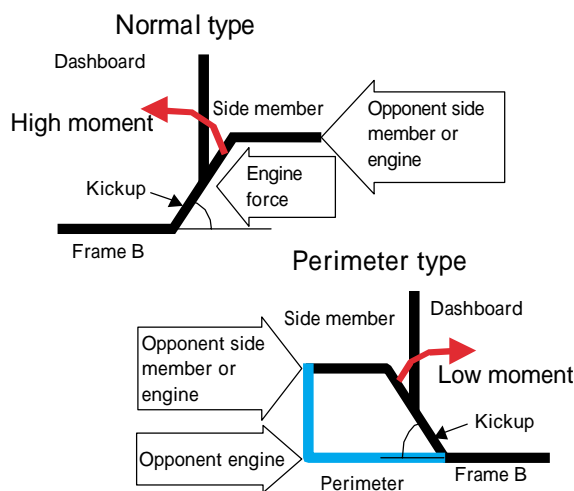


Fig.19 Toeboard Intrusion Mechanism

5.まとめ

ペリメータフレームのある車両とペリメータフレームのないサスクロスタイプの車両が衝突した場合のコンパティビリティ性能をCAE解析により比較検討した。その結果、ペリメータフレーム構造は、衝突高さの違いによるジオメトリ変化において自車の車体変形のばらつきを抑え、安定させる効果があることから自車の保護性能を高めるために有効な車両前面構造であることがわかった。

一方、コンパティビリティにおける加害性低減については、相手車の潜り込みを抑える効果を確認できた。しかし、相手車の剛性低下を抑えるまでの効果を確認できなかった。今後は、ペリメータ構造を発展させることで、自車の保護性能と相手車への加害性低減の両立化を図ることが研究すべき課題と考えている。

6.おわりに

リアルワールドの市場事故分析から、車両タイプの異なる車同士の衝突事故で、双方の車の乗員傷害に差が生じることが分かっている。マツダは両車の乗員の安全を同時に確保するための研究を行っており、本報告でその一部を紹介した。今後の市場事故による死傷者低減の観点から、安全技術開発を継続し商品化を目指して行きたい。

参考文献

- (1) Summers et al. : NHTSA's Research Program for Vehicle Aggressivity and Fleet Compatibility , ESV Paper, #249 (2001)
- (2) 交通事故総合分析センター：交通事故例調査・分析報告書 - 平成13年度報告書 - (2002)

著者



福島正信



藤井真司



安部晶子



尾川 茂



藤田英治



砂川孝之



田中由起子