

車体骨格構想段階に適用可能な CAE 技術の開発

Development of CAE Technology Applicable to the Concept Stage of BIW

藤 井 隆 之*
Takayuki FUJII

藤 田 成 雄*
Shigeo FUJITA

吉 澤 泰 史*
Yasushi YOSHIZAWA

要 旨

軽量高性能な車体開発のため車体骨格構想段階から適用できるCAE技術を構築した。本技術はデザインラインと骨格断面から FE モデルを作成し骨格構造の性能指標となる静特性、動特性、側面衝突特性のボディ性能解析を可能にした。本技術は CAD 図を特に必要としないため設計者は多くのアイデア、イメージを短時間でFEモデルに反映しCAEにより性能予測された新しい骨格構造の提案を行うことができる。従来の高精度な大規模モデルと比較した解析結果から、相関性が確認され車体骨格構想段階から性能予測が可能であることを検証した。本稿では本技術を利用してデザイン変更が行われる車両に車体骨格構想段階CAEを適用し骨格構造検討と性能予測を行った。

ABSTRACT

A CAE technology which can be applied from the concept stage of BIW in the design of lightweight, high-performance vehicle bodies was developed. This technology formulates an FE model from design lines and frame cross-sections, and enables analysis of body performance using the frame performance indicators static characteristics, dynamic characteristics and side collision characteristics. Because this technology does not require CAD diagrams, designers can quickly employ numerous ideas and images in FE models and utilize CAE to predict performance, enabling the creation of new frame structures. Comparison of analysis results with conventional high-accuracy large-scale models has confirmed correlativity between the methods, and verified that it is possible to predict performance from the concept stage of BIW using the new technology. This paper discusses the application of CAE at the concept stage of BIW to examine frame structure and predict performance when altering the design of a vehicle.

1. まえがき

近年、自動車に環境対応を求める声が高まる中、車体骨格に対しても、安全性及び商品性を損なうことなく軽量化する技術が求められている。軽量車体骨格開発のコア技術であるCAEに関しては、計算機の性能向上と共に高精度な性能予測が可能となって来ている。ただし、現CAEはCAD図ベースの FE モデルを主体としており、骨格構造の構想段階(CAD図がない段階)においては設計者の考えた骨格構造の性能評価が短期間で実施できない状況にある。本稿では、車体骨格開発初期において、CAD図を必要としないFEモデル作成技術^{(1), (2)}とそのモデルを用いた車体骨格の静特性、動特性及び衝突性能評価を短期間で可能とするCAE技術を構築したので報告する。

*栃木研究所

2. 構想段階 CAE 技術の概要

2.1. 車両開発における CAE の適用時期

従来の CAE 適用時期は、CAD 図面作成の後から適用され高精度な予測が行われる実車性能予測の段階である。本稿が提案する CAE は、Fig. 1 に示す骨格構想段階に適した CAE である。この段階はデザインスケッチからはじまりクレイモデルが作成される期間である。この期間内で軽量かつ高性能な骨格構造をスタイリングデザインに反映することが狙いである。この期間内でボディ特性を予測し対策を施せば軽量かつ高性能な骨格構造の提案が可能になる。しかし、この期間はデザイン変更が頻繁に行われるためデザイン変更にとまなうモデル修正と特性予測を素早く実施することが重要になるので、本技術は解析精度よりも方向性

を短期間で導き出すことを目的にしている。

車両開発フローでは新規車両開発と既存車両流用の場合が存在する。

- (1) 新規車両開発の場合は、既存車両の骨格構造にとらわれない新しい骨格構造検討を行う。スケッチが開始される頃から CAE を適用し軽量かつ高性能を可能にする多様な骨格構造提案を行う。
- (2) 既存車両流用の場合は、アッパボデーのスタイリング変更にとともなう性能変化を本稿提案の CAE 技術で予測し対策仕様提案を行う。限られたレイアウトの中で最も効果的な対策仕様を提案することが求められる。

(1), (2)とも Fig. 1 に示すように本稿が提案する構想段階CAE技術の適用により軽量かつ高性能な骨格構造提案を可能にした。

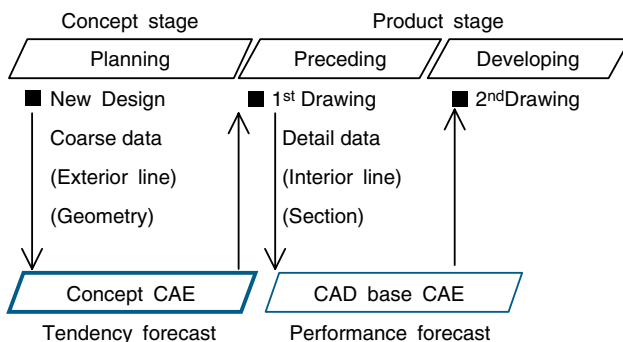


Fig. 1 Car development flow & CAE

また、デザインが決定し、CAD図が出図された後は、従来の CAD 図ベースの大規模 CAE 技術を適用し NV, 剛性, 衝突の性能予測を行う。

2.2. モデリングの考え方

従来の CAE は、実車性能予測のため詳細な FE モデルが要求される。詳細モデルは部品形状を CAD 図で作成し FEM 用プリプロセッサを介して大規模 FE モデルとして作成される。詳細な大規模モデルにより高精度な解析が求められる。しかし CAD 図を使うため変更の部位や形状によっては多大な修正時間が発生する。

それに対して本稿で使用する FE モデルには、骨格構造提案のため仕様検討が短時間で対応できる簡易な FE モデルが要求される。簡易 FE モデルはデザインデータと断面形状データを用いて本稿で提案する図面レスモデリング技術を利用して生成され、CAD図を作成せず短時間で骨格構造やデザイン検討にとともなうモデル変更が素早く対応できる骨格構造検討に適したモデルである。

2.3. 図面レスモデリング技術

Fig. 2 に図面レスモデリング技術を用いたモデル作成フローを示す。

- ・デザイン形状から車体骨格部材の配置を設定
- ・骨格配置ラインに断面を設定
- ・ビーム要素を作成

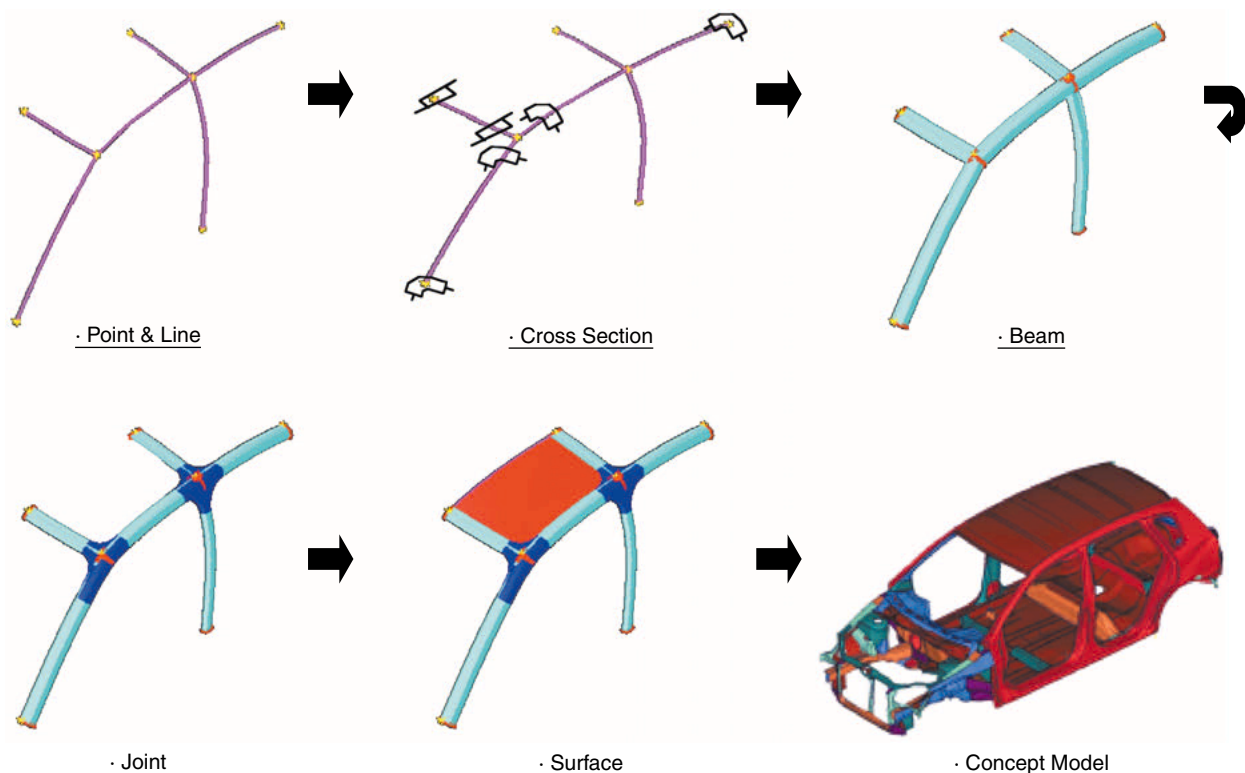


Fig. 2 Concept modeling flow for body structure

- ・複数のビーム要素が集合する結合部分にジョイント要素を作成
- ・骨格間には面の要素を作成

以上の作業を繰り返す事により、CAD図を作成することなくボデー全体の骨格モデル(以下、コンセプトモデル)を作成することができる。

2.4. パラメトリック技術

コンセプトモデルは、トポロジーが変化しない範囲で任意の形状や構造変更を行うことができる。Fig. 3に示すようにベースとなるコンセプトモデルにデザイン変更する全高寸法値を入力すれば新たなモデルに変更される。フレーム配置や断面形状を変更すれば短時間でボディ性能予測解析を実施する事ができる。トポロジーが変わる場合は、変更部位だけ新規に作成すれば直ちにパラメトリック技術が適用できる。図面レスモデルモデリング技術とパラメトリック技術を活用することで、CAD図を作らずに骨格構造モデルを作成しデザイン変更による影響確認を早急に行い、短期間で構造の仕様違いの検討が行える技術を実現した。

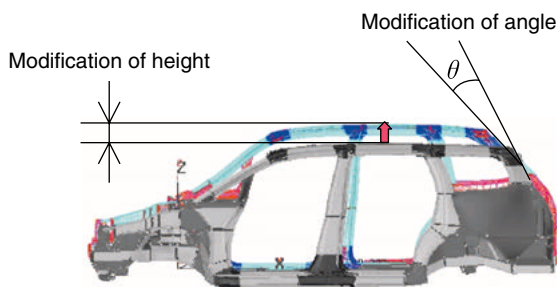


Fig. 3 Model modification using parametric technique

3. コンセプトモデルの検証

図面レスモデリング技術とパラメトリック技術を用いて作成した解析用モデルを用いて車体骨格性能評価を実施する。本事例では側面衝突性能及び車体剛性(動的, 静的)について適用し従来の詳細モデルとの比較でコンセプトモデルの検証を行った。

3.1. モデル作成時間

コンセプトモデルのピラー角度を変更したモデル作成時間を Fig. 4 に示す。従来の手法に対してパラメトリック技術を活用した結果大幅な時間短縮が図れた。限られた開発期間内で骨格構造検討を実施した場合、CAD図ベースのモデリング技術と比較した結果では数多くの骨格構造検討が可能である事が確認された。

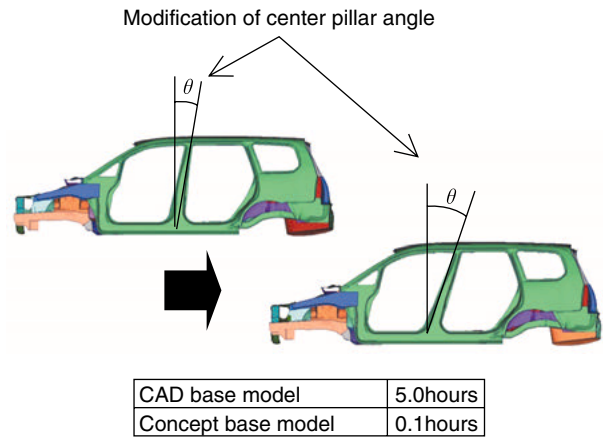


Fig. 4 Man-hour comparison for modeling

3.2. 衝突解析での検証

コンセプトモデルによる側面衝突解析を行い、衝突時の大変形予測について検証をした。実車衝突試験およびCAD図ベースのFEモデルでの側面衝突解析の結果とコンセプトモデルでの側面衝突解析の結果を比較した。側面衝突解析を実施するに当たり、ボデー、ドアについてコンセプトモデルを作成し、ダミー、シート等は既存のモデルを用いた。解析結果の妥当性を判断するために、センタピラーの侵入量とセンタピラーの侵入モード、およびボデー反力の三つを比較した。センタピラーとダミー接触時のセンタピラー変形量をセンタピラーの侵入量とし、折れの角度から求められた変形量をセンタピラーの侵入モードとした。

Fig. 5にセンタピラーの側面衝突前後の変形結果を示す。コンセプトモデルとCAD図ベースモデルを実車と比較した結果、センタピラー侵入量とセンタピラー折れ角度から求められた変形量が良く一致した。Fig. 6にボデー反力値を示す。ボデー反力をコンセプトモデルとCAD図ベースモデルで比較した結果、反力値も一致した。これより、コンセプトモデルで側面衝突解析を行い、車体骨格性能を予測することが可能であることが確認された。

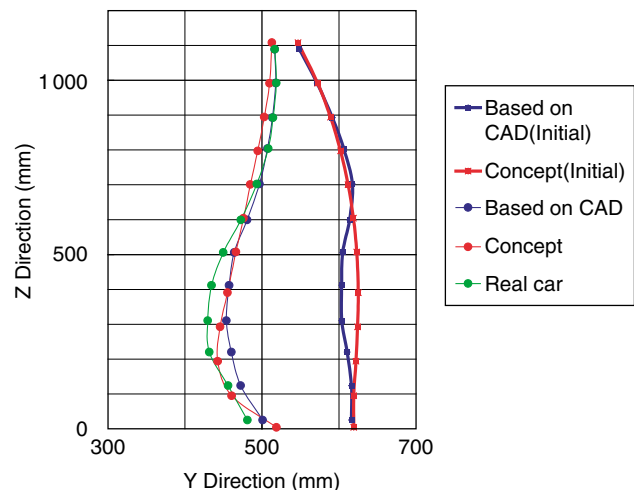


Fig. 5 Deformation of center pillar in side impact test and simulation results

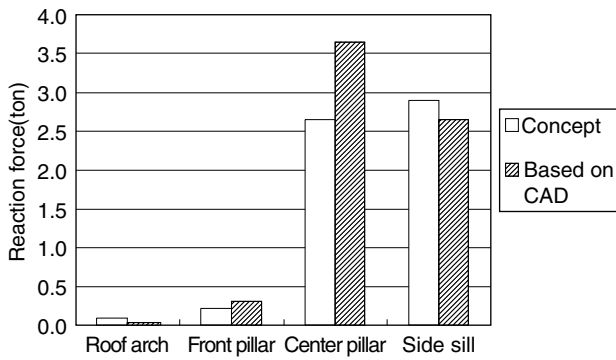


Fig. 6 Reaction force

3.3. 車体固有値解析での検証

コンセプトモデルで固有値解析を行い、30～80Hzの低次モードで骨格特性予測について検証した。低次モードに注目したのは車体骨格により特性が決まるからである。より高次のモードではパネル面の剛性など、車体骨格以外の要因が大きくなる。

解析結果の妥当性を判断するために、コンセプトモデルとCAD図ベースのモデルで固有値解析を行い、モードの発生順と固有値の精度を比較した。

結果をFig. 7に示す。コンセプトモデル、CAD図ベースのモデルともモードの発生順は同じであり、ねじり、首振り、曲げ、せん断曲げの順に発生した。固有値についてはCAD図ベースのモデルに対しコンセプトモデルは高くなる傾向を示し、その差は最大で+14%であった。モードの発生順を予測できることから、コンセプトモデルで骨格特性予測が行えることが確認された。

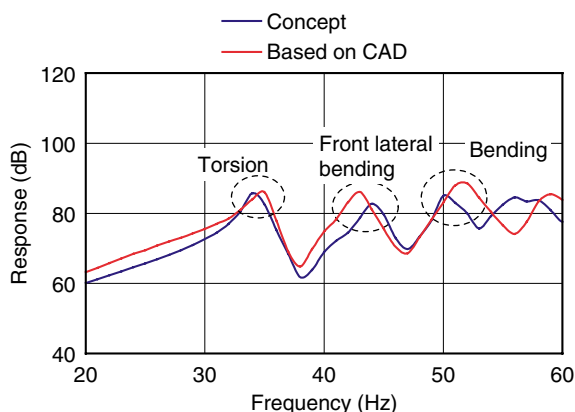


Fig. 7 Result of eigenvalue analysis

3.4. 車体静剛性解析での検証

曲げ、ねじりの車体静剛性について、実車の測定値とCAD図ベースのモデル、コンセプトモデルの計算値を比較した。結果をFig. 8に示す。曲げ、ねじり剛性ともにコンセプトモデルの計算値は、実車測定値とCAD図ベースの

モデルの計算値に比べ高くなる傾向を示した。Fig. 9に示すようにCAD図ベースモデルが実車の形状を忠実に表現しているのに対してコンセプトモデルは細部形状表現を意識的に簡易化したため計算値が高くなることによる。

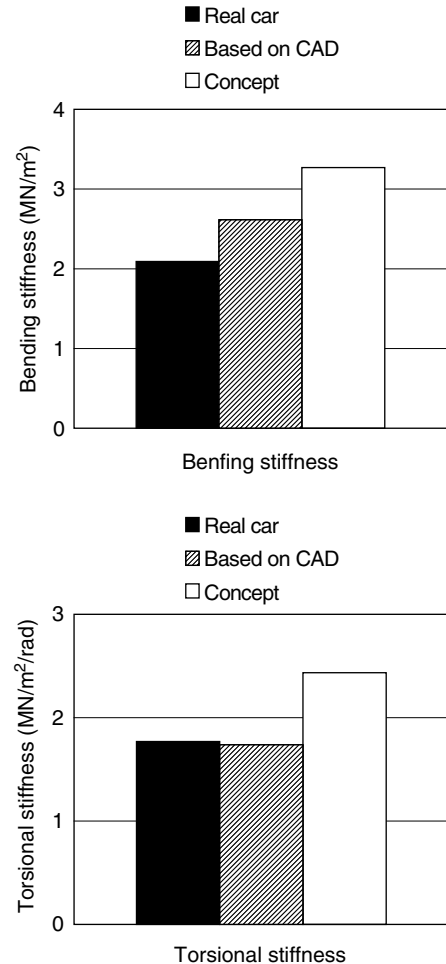


Fig. 8 Comparison of static stiffness with real car

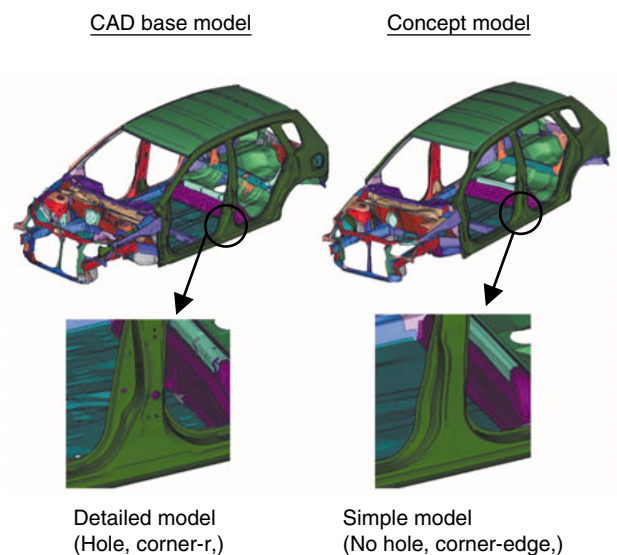


Fig. 9 Comparison of detailed CAD base model and concept model

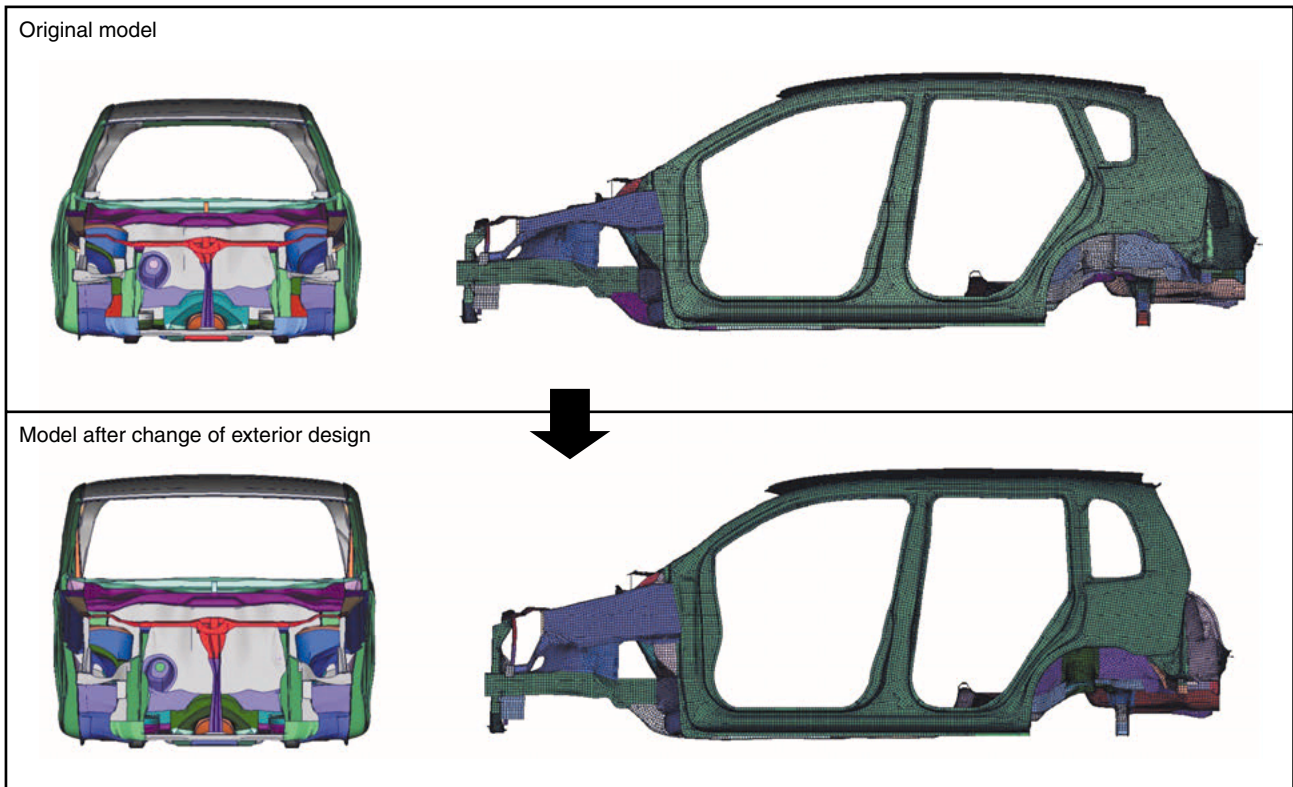


Fig. 10 Original model and model after change of exterior design

4. 開発への適用事例

本技術を車体骨格プラットフォームを共通にした車両に適用した。まず、ベースとなる車両のモデルを作成した後にパラメトリック技術を用いて外形デザインを反映したモデルに変更した。外形デザインが反映されたモデルは、パッケージングを考慮して各ピラーとサイドシルの断面形状を反映した骨格構造検討モデルに更新した。Fig. 10 にベースモデルとデザイン変更モデルを示す。Fig. 11 には骨格構造検討モデルの断面形状をベースモデルと比較して示す。

以上の三つのコンセプトモデルを用いて側面衝突、固有値、車体静剛性の性能予測解析を行い、外形デザインと断面形状の変更が車体骨格性能に及ぼす影響を求めた。

	Fr pillar	Roof side rail	Center pillar	Side sill
Original model				
Section modified				

Fig. 11 Sections before and after modification

4.1. 側面衝突解析での適用結果

解析で得られたセンタピラー侵入量を Fig. 12 に、セン

タピラー侵入折れ角度から求められた変位量を Fig. 13 に示す。外形デザインの変更により、センタピラー侵入量は増加しセンタピラー侵入折れ角度から求められた変位量は増加した。断面形状の変更により、センタピラー侵入量はさらに増加しセンタピラー侵入折れ角度から求められた変位量は増加した。

本モデルの側面衝突解析結果より、センタピラー侵入量の増加の原因を推測し、断面変更を施したモデルを作成し解析を行った。この結果も合わせて Fig. 12 と Fig. 13 に示す。対策により、オリジナルモデルに対しセンタピラー侵入量は減少しセンタピラー侵入折れ角度から求められた変位量は増加した。対策結果から側面衝突に対する車体骨格性能はベースとなる車両と同等以上という予測結果が得られた。

4.2. 固有値解析での適用結果

次に、固有値解析を行った結果を Fig. 14 に示す。伝達特性はオリジナルモデルと骨格構造検討モデルのリアフロアフレーム後端の上下応答を示す。

解析結果から、Fig. 15に示すリアねじりモードがオリジナルモデルに対して大幅に悪化することが予測された。対策を行った結果、テールゲート開口部剛性を向上させることが効果的であることが分かったため、テールゲート開口部剛性向上対策を行ったモデルを作成し固有値解析を行った。Fig. 16に結果を示す。断面変更によりリアねじりモードがオリジナルモデルとなるプラットフォームを持つ車両と同等にまで向上することが確認できた。

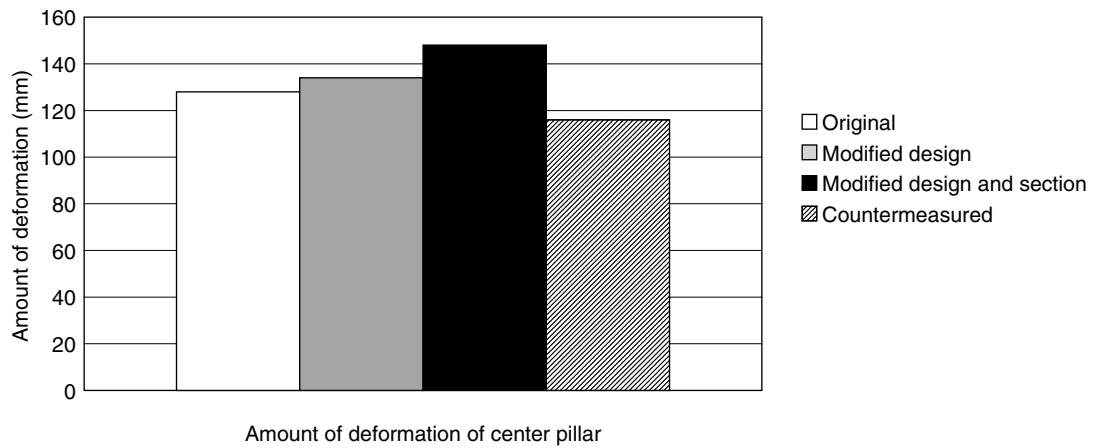


Fig. 12 Result of analysis of amount of deformation

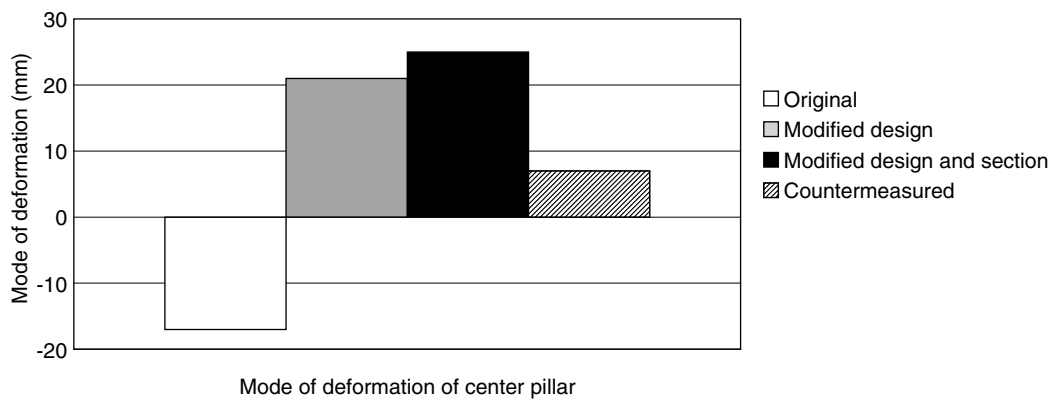


Fig. 13 Mode of deformation results

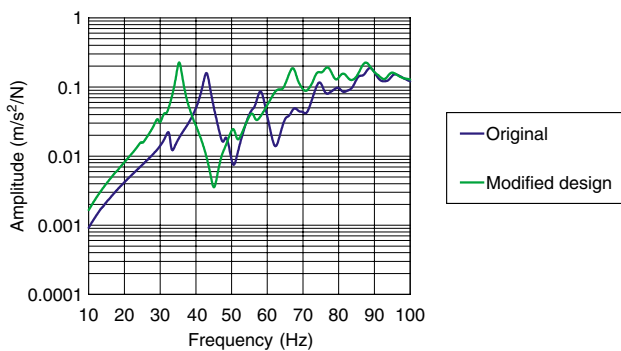


Fig. 14 Response of rear floor frame end

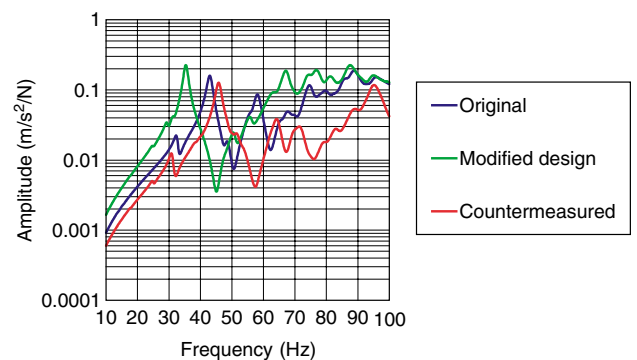


Fig. 16 Response of rear floor frame end after modification

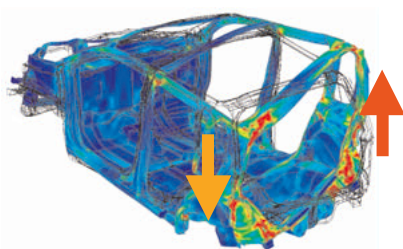


Fig. 15 Rear torsional mode

4.3. 車体静剛性解析への適用

静剛性解析結果を Fig. 17 に示す。オリジナルモデルから外形デザインを反映したモデルでは、車体静剛性値は曲げ、ねじりとも低下したことが分かる。対策として行った断面形状変更と、テールゲート開口部剛性向上により剛性は向上し、オリジナルとなるプラットフォームを持つ機種と同等となることが確認できた。

(2) E. Schelkle, H. H. Elsenhans : Integration of Innovative CAE-Tools in the Concept Stage of Vehicle Development, VDI Report Nr. 1559-2000

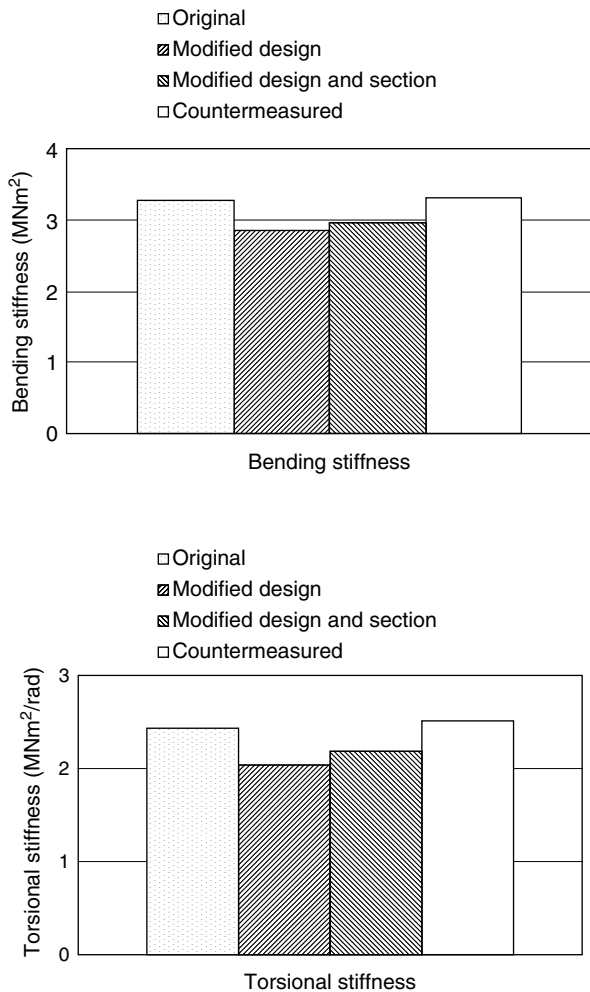


Fig. 17 Static stiffness of concept models

5. まとめ

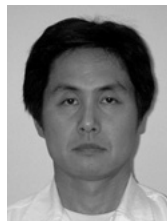
コンセプトモデルを用いた CAE 技術の開発により下記の結果を得た。

- (1) 図面レスモデリング技術により CAD 図作成前の骨格構想段階から CAE による側面衝突、固有値、静剛性の車体骨格性能予測を行い CAE で予測された性能を有する骨格構造を CAD 図にすることができた。
- (2) デザイン検討と同期した構造解析の適用により、車両開発に大きな影響を及ぼす車体骨格構造に対して多様な骨格構造案での性能予測を繰り返し、適切な骨格構造を導くことを可能にした。

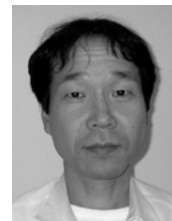
参考文献

- (1) H. Zimmer, A. Hovelmann, H. Schmidt, U. Umlauf, B. Frodl, U. Hanle : Concept development tool Flexible generation of parametric virtual Prototypes in car body design, VDI Report Nr. 1559-2000

■ 著 者 ■



藤井隆之



藤田成雄



吉澤泰史