

S2000用モノコックボデーの開発

Development of a Monocoque Body for the HONDA S2000

高井 章一*

Akikazu TAKAI

岡田 賢治*

Kenji OKADA

塚本 祥士*

Shouji TSUKAMOTO

日比 亜史也*

Ashiya HIBI

要 旨

S2000のコンセプトに沿って、新たにオープンモノコックボデーの開発を行った。

従来のオープンボデー骨格構造はボデー剛性や衝突安全性能の確保を目的とした補強のために大幅な重量増を必要としてきた。

今回新開発した「ハイXボーン」と名付けられた骨格構造においては、フロアトンネルを閉じられた大きな断面を持つメインフレームとした上で、その高さが前後のサイドメンバーと同じになるように設計した。

これによって、一体のルーフを備えたクローズドボデーと同等以上のボデー剛性および衝突安全性能を、同等の重量によって実現することができた。

ABSTRACT

The new open monocoque body was developed to meet the concept of the HONDA S2000.

Large amount of additional weight was required to maintain the performance of body rigidity and crash safety of an open-body equivalent to a closed-body.

The new monocoque body, named High "X" Bone, was designed to have a closed floor tunnel section, which laid at the same height as the front and rear side members.

This enabled us to get better performance of body rigidity and crash safety than closed-body with the same weight level.

1. まえがき

S2000の開発に求められたのは「環境及び安全対応といった社会ニーズをふまえたうえで、走る楽しさ、操る喜びに焦点をあてた新世代リアルオープンスポーツをつくること」であった。

ボデー開発においては、高いボデー剛性と、世界最高水準の衝突安全性能を備えたオープンスポーツカーを創り出すことを目標とした。

本稿では剛性、安全、軽量化を両立させるためのボデー骨格構造、およびその成果について述べる。

2. オープンボデー開発の課題

構造部材のひとつであるルーフがオープンボデーには存在しないことがボデー剛性および衝突安全性能を低下させる要因となっている。

ボデー剛性が低い場合、走る、止まる、曲がるといったクルマとしての基本性能にかかわる剛性感の低下が顕在化し、様々な振動問題の発生および操縦安定性や俊敏な応答性の低下につながることになる。

一方、衝突安全性能においては、衝突時のキャビンへの荷重入力に対し、それを支えるだけの十分な強度を得にくいため、ボデーの変形を抑制して生存空間を確保し傷害を軽減することが難しくなる。

しかしFig.1に示す一般的なオープンボデーのように、これらの懸案を解決するために単純に(ルーフ以外の)基本骨格の板厚増加及び補強部材の追加などを施しても、クローズドボデーより重くなりながら不十分な性能しか得られない場合が多い。

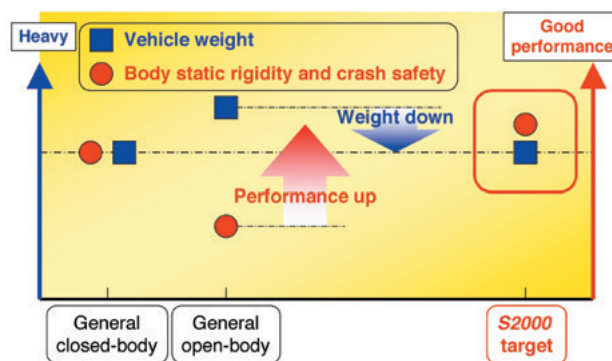


Fig.1 Body static rigidity and crash safety and vehicle weight

車両重量からみれば、オープンカーとリアルオープンスポーツという、ともすれば相反する要素を高次元で両立するために、オープンボデー専用設計を前提とすることで既成概念にとらわれることのない開発をこころみた。

S2000を新世代リアルオープンスポーツと位置づけるためには高性能化と軽量化の両立が必要不可欠であることから、あくまでもその目標はクローズドボデー同等以上のボデー剛性と衝突安全性能を同等の重量によって実現することとした。

3. ボデー剛性

3. 1. オープンボデー構造の剛性

オープンボデー構造において剛性が不足する要因のひとつは、Fig.2に示すように車を横から見た時にキャビン部のボデー構造中立軸がクローズドボデーに比べて低いことである。このために、ボデー構造中立軸より下側に位置する基本骨格の板厚増加や補強部材追加をいくら行っても、ボデー構造中立軸自体は容易に高くできないために重量効率

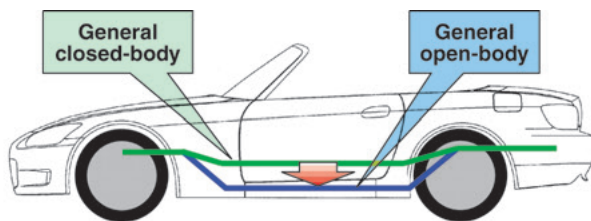


Fig.2 Comparison of neutral pivot height in each section

が悪く、結果としてボデーが重くなる。

また、キャビン前後端の結合部における横断面でも、ボデー構造中立軸について同様のことがいえる。Fig.3に示すように、キャビン前端において、キャビンへの入力点であるフロントサイドメンバの断面中立軸に対してキャビン側のボデー構造中立軸が外方向にオフセットしている。オーブ

ンボデーにおいてはサイドシルの大断面化によってさらにその傾向が強い。そのため、サイドメンバからの入力荷重に対してキャビンに発生する曲げとねじりの両モーメントが大きくなる。

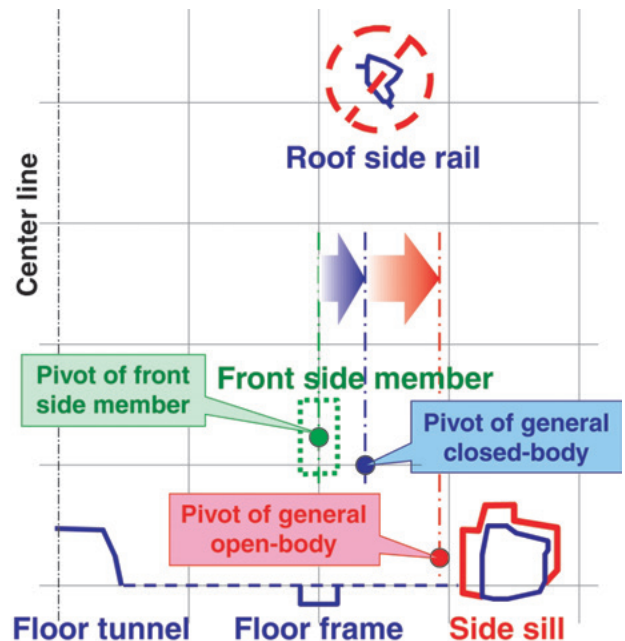
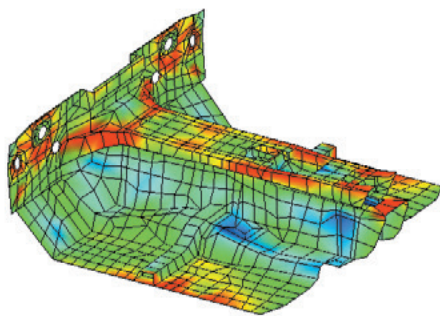


Fig.3 Comparison of neutral pivot of half section

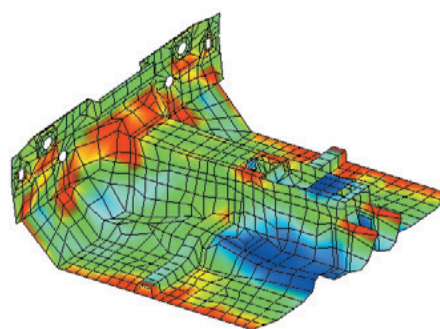
3. 2. オープンボデー高剛性化への対応

構造中立軸の低さと外側へのオフセットを改善する一般的な対応手法として、フロアトンネルの大型化と板厚増で断面二次モーメントを向上させる方法が考えられる。ただし、この手法はフロアトンネルの角陵から側面に荷重を伝えて剛性を確保する手法であるが、トンネルの前部で荷重が分散してしまうため、これだけでは十分な性能向上が図れず軽量化の観点からみても効果的でない。

S2000では、その高い目標を達成するために、Fig.4に示すように、クローズド断面をトンネル上面に設けて荷重を伝達するとともに、前後のサイドメンバと同一の高さで結合する構造を採用した。またボデーを上から見た時の形状がFig.5のようにX字型であることから、この構造を「ハイXボーン」と称した。



S2000 (floor tunnel with closed section)



Floor tunnel without closed section

Fig.4 The effect of floor tunnel section about misses stress

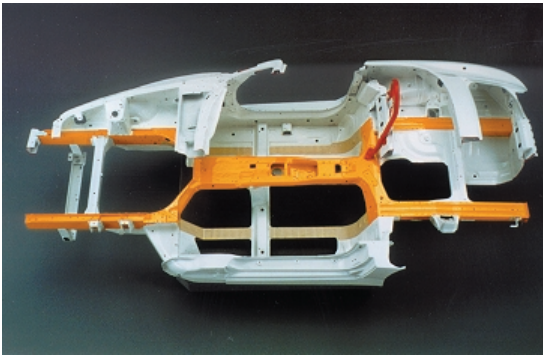


Fig.5 High "X" Bone structure

3.3. ハイXボーンの効果

フロアトンネルを活用したハイXボーンの優位性は、Fig.6に示すように従来手法とは異なりキャビン部のボデー構造中立軸そのものを荷重入力点であるサイドメンバの高さに近づけることで、ボデー全体にわたり構造中立軸高さのオフセット量を減らし、重量効率よくボデー剛性が確保できることにある。

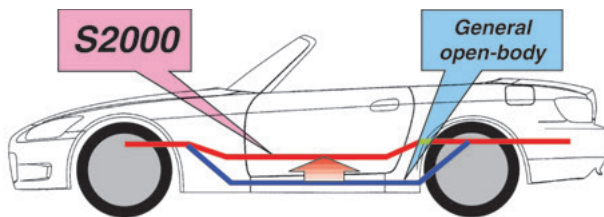


Fig.6 Comparison of neutral pivot height in each section

また、キャビン部のボデー構造中立軸の外側へのオフセットに関しても、Fig.7に示すようにフロアトンネル部の効率的な断面増加によってオフセット量が減少するため、同様のことがいえる。

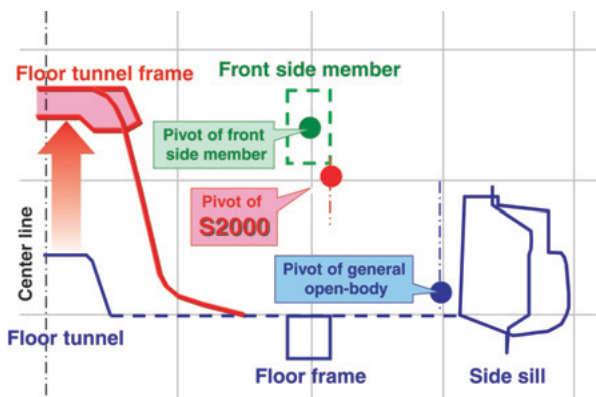
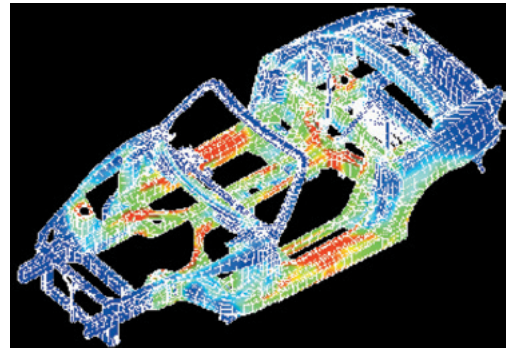
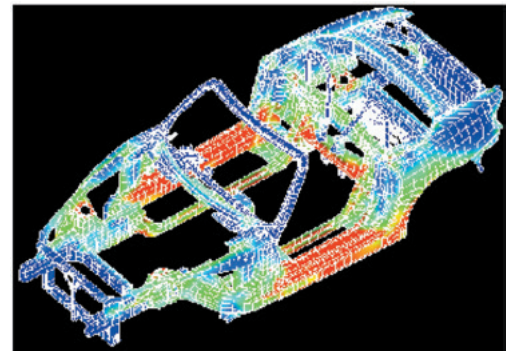


Fig.7 Comparison of neutral pivot of half section

以上のことは有限要素法を用いたシミュレーションを使ってS2000のボデーとそこからフロアトンネルの閉断面を除いた場合の上下曲げ剛性の比較であるFig.8およびねじり剛性の比較であるFig.9にも明確に現れている。

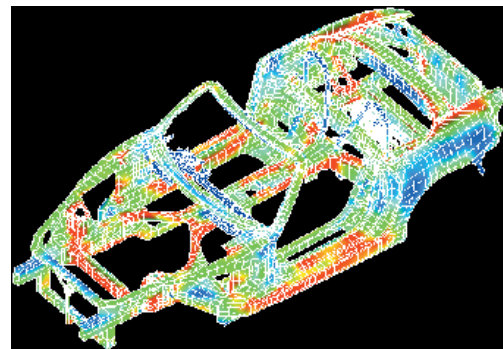


S2000 (with floor tunnel frame)

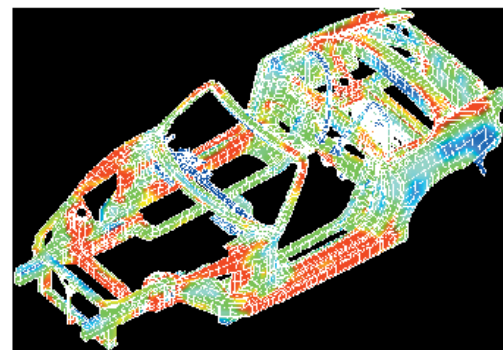


Without floor tunnel frame

Fig.8 Body static stiffness [bending]



S2000 (with floor tunnel frame)



Without floor tunnel frame

Fig.9 Body static stiffness [torsion]

フロアトンネルのねじり剛性に関する寄与度をFig.10に示す。

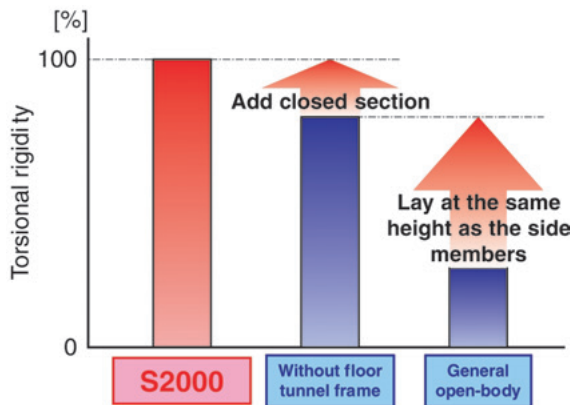


Fig.10 Effect of floor tunnel frame about torsional rigidity

Table 1に示すように、ハイXボーン構造においては、上下曲げ及びねじりに対するフロアトンネルの寄与度が高い。横曲げに対しては、最外側に位置するサイドシルの寄与度が高くなる。

Table 1 Divided rate about body rigidity in High "X" Bone

	Bending rigidity		Torsional rigidity
	Vertical	Lateral	
Floor tunnel frame	50%	20%	35%
Side sill	35%	60%	50%
Floor frame	15%	20%	15%

ハイXボーンの採用によりフロアトンネルを中心に効果的な補強が可能となったことで、オープンカーでありながら高剛性かつ軽量なボデーをつくる事ができた。さらにオープンボデー特有の剛性感の低下、操縦安定性の低下、振動などについても十分な改善がはかれ、これらの性能向上に対しても大きく貢献している。

4. 衝突安全性能

4.1. 前面衝突安全性能の目標設定

前面衝突安全性能を評価するための基準は事故実態調査の結果を考慮して決定した。Fig.11に示すように、実際の前面衝突事故の95%は55km/h以下の速度で発生している。これをもとにして、Fig.12に示すようにバリアテストに置き換えた場合の基準テストモードを選定した。

乗員の生存空間確保にとって厳しいとされる車両対車両の55km/hオフセット事故に対しては、その再現テストとして、欧州法規速度56km/hを上回る64km/h ODB(Offset

Deformable Barrier)衝突テストを、乗員の傷害軽減にとって厳しいとされる車両対車両の55km/hフルラップ事故に対しては、その再現テストとして日本および米国の法規速度50km/hを上回る55km/hフルラップ衝突テストを基準とした。

同様の64km/h ODB衝突テストについては、米国のIIHS (Insurance Institute for Highway Safety)や欧州のFIA (Fédération Internationale de l'Automobile)などの機関により、その結果が情報公開されている。

また55km/hフルラップ衝突テストについても同様なテストの結果が米国のNHTSA(National Highway Traffic Safety Administration)や日本の自動車事故対策センターなどの機関により情報公開されている。

S2000の前面衝突においては、これらの基準テストにおいてホンダが独自に定めた乗員の傷害軽減と生存空間の確保についての高い基準をクリアすることを目標とした。

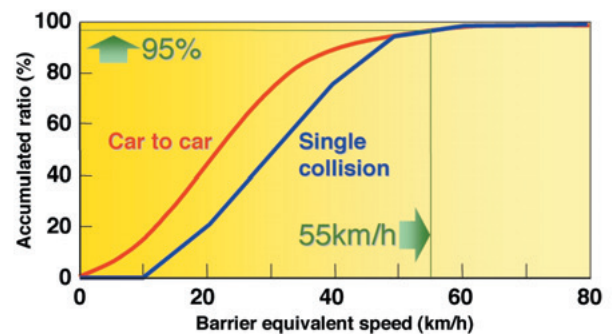


Fig.11 Analysis of accident speed

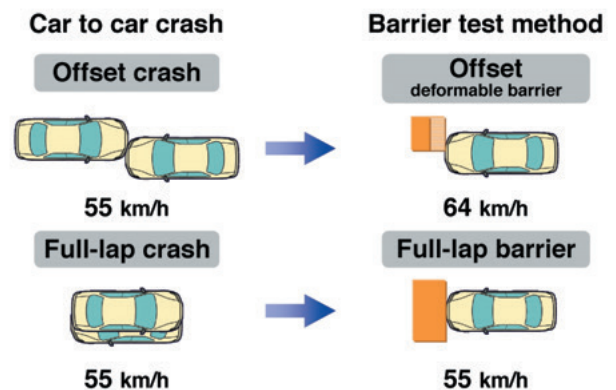


Fig.12 Replacement of test method

4.2. 64km/h ODB衝突テストへの対応

オフセット衝突テストは、Fig.13に示すように衝突時の車両の運動エネルギーが片側のフロントサイドメンバから入力するため、キャビンに発生する反力がフルラップ衝突に比べると小さくなることからキャビンの変形が大きく、乗員の生存空間確保や下肢の傷害にとって厳しい。

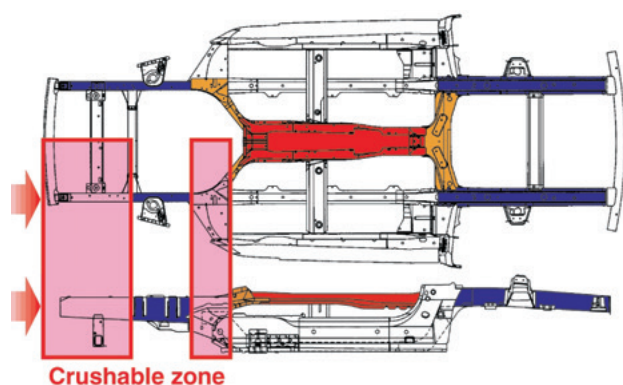


Fig.13 Crushable zone at the case of ODB test

乗員の生存空間を確保し傷害を軽減するためには、エンジンルームからの荷重入力に対して、それを支えるために十分なキャビンの反力を発生させなければならない。この問題がルーフ構造を持たないS2000にとっては特に大きな課題となるため、軽量化との両立の観点から、効率よくこの課題を解決するためのボデー構造を検討する必要がある。

S2000では、Fig14に示すようなハイXボーンによって構築されたフロントサイドメンバ後端部の三つ又構造によってキャビン反力を効率よく発生させるように設計した。新たにサイドメンバに連結されたフロアトンネルによってサイドメンバ後端部に発生するモーメントを極力小さくし、効果的に十分なキャビン反力が確保できる構造としている。

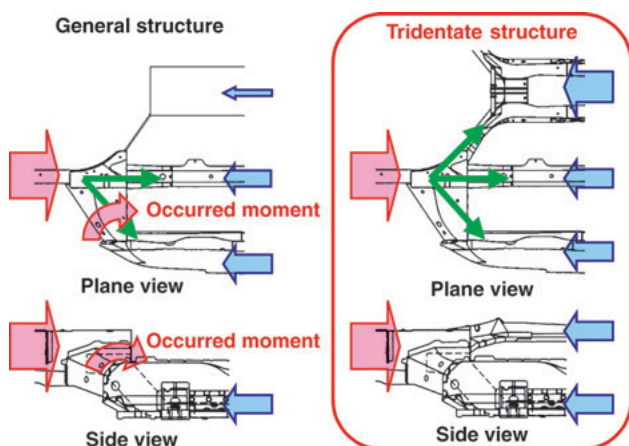


Fig.14 The effect of tridentate structure

また、この時、Fig.15に示すように、ボデー剛性の章で述べた構造中立軸のオフセットによってフロアトンネルに大きな圧縮荷重が発生する。したがって、オフセット衝突時の生存空間を確保するためには、この圧縮荷重に耐えられるようにフロアトンネルの強度を設定する必要がある。

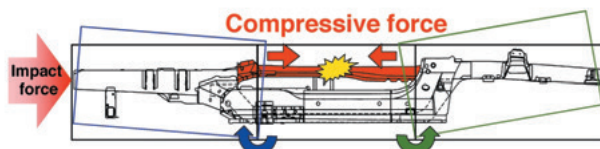
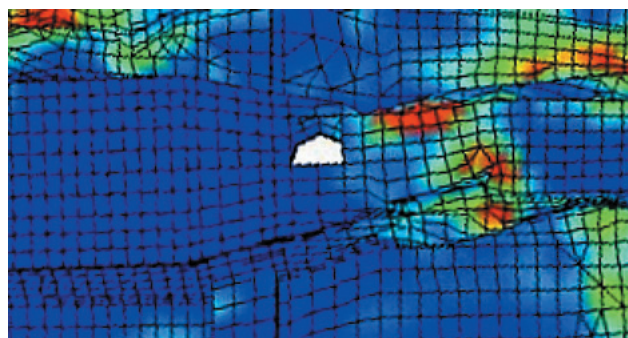


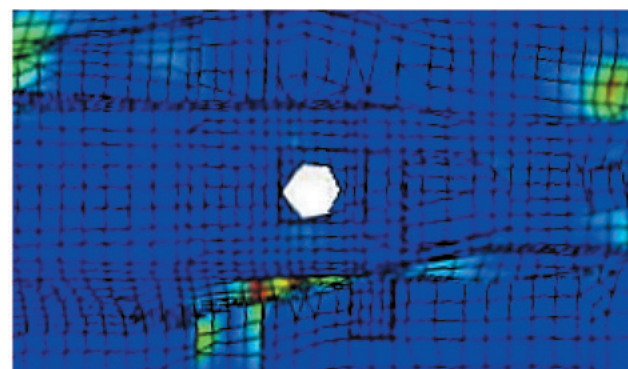
Fig.15 Compressive force occur at the floor tunnel

フロアトンネルにはシフトノブ、パーキングブレーキ、各種スイッチ等を配置する必要があり、応力集中を引き起こす穴や窪みが存在し、大荷重を分担するメインフレームとするためには補強部材の追加が必要である。

S2000では閉断面を持つフロアトンネルの両側面にキャビン前端から後端までつながる補強部材を追加することにより必要な強度を確保した。フロアトンネルの形状設定にあたってはFig.16に示すような有限要素法によるシミュレーションを用いた。



Original (without reinforcement)



Improvement (with reinforcement)

Fig.16 The effect of additional reinforcement

S2000ではここまで述べたような新骨格構造の採用により効率的なキャビンの荷重分担が可能となった。ここで、クローズドボデーのオフセット衝突におけるキャビン反力の分担例をFig.17に示す。エンジンルームからフロントサイドメンバ、ホイールハウスアップメンバ、タイヤ等を介して入力した荷重は、フロアフレーム、サイドシル、ドア、ルーフサイドレール、フロアトンネル等によって分担して支えられている。このクローズドボデーの例ではルーフの

荷重分担は全体の15%を占めており、オープンボデーにおいてはルーフ以外の骨格にその荷重を効率よく分担させる必要がある。Fig.18にS2000の荷重分担率を示す。



Fig.17 Assignment force of the general closed-body

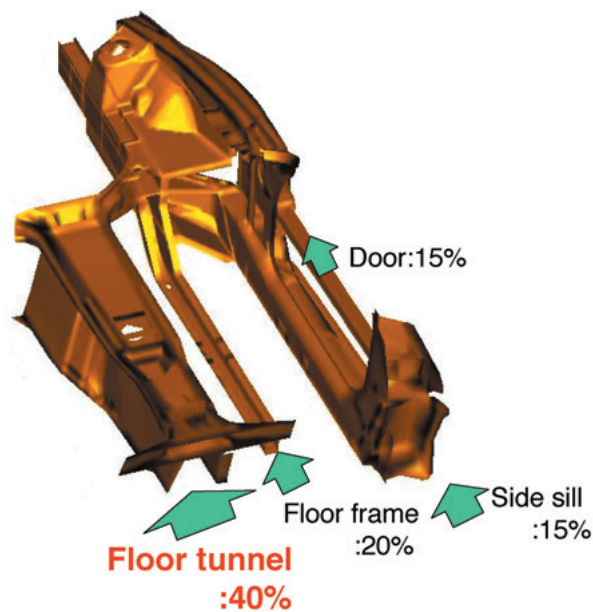


Fig.18 Assignment force of S2000

S2000においてはキャビン反力をフロアトンネルに集中して分担させており、その割合は全体の40%を占めている。これは、Fig.17に示したクローズドボデーの場合の5%と比較すると非常に大きな数字であり、フロアトンネルが衝突の際に最も大きな荷重を分担するメインフレームとしての機能を果たしていることがわかる。

4. 3. 55km/hフルラップ衝突テストへの対応

フルラップ衝突テストは、Fig.19に示すように衝突時の車両の運動エネルギーが左右のフロントサイドメンバから入力するためキャビンに発生する反力が大きく、車体の減速度が大きくなることから乗員の傷害値にとっては厳しい。

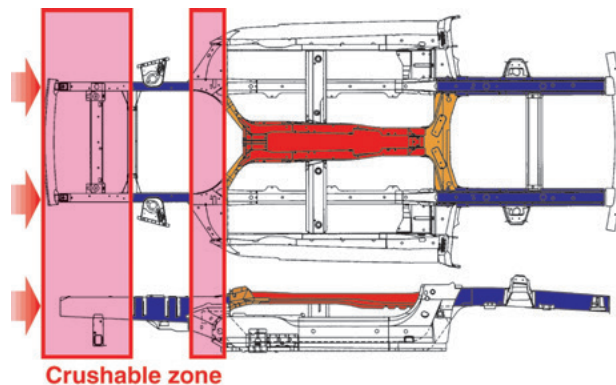


Fig.19 Crushable zone at the case of full-lap barrier test

乗員の傷害を軽減するためには車体の減速度をコントロールし、乗員の受ける衝撃エネルギーを低減する必要がある。

S2000はボデー剛性確保とオフセット衝突時の生存空間確保への対応のためにフロントサイドメンバ後端部の強度が高く、この部分を変形させることは車体の減速度が大きくなり、乗員に与える衝撃エネルギーの増加につながる。

そこでFig.20に示すようにエンジンを前車軸の後方に搭載したレイアウトを活用して、ボデー前端からエンジンまでの間で車両の運動エネルギーの大半を吸収することによって乗員が受ける衝撃エネルギーを低減する構造とした。

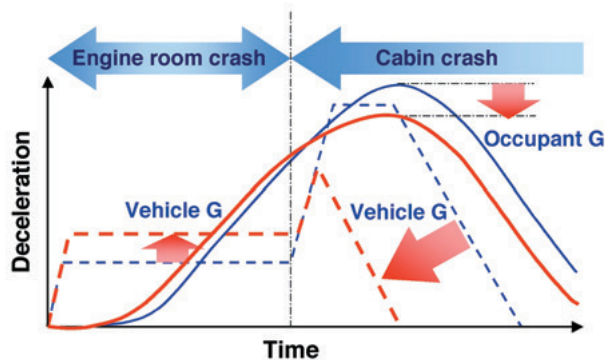


Fig.20 Vehicle and occupant deceleration management

具体的には、まず、Fig.21に示すように、フロントサイドメンバをストレートな形状として、衝突時に座屈せず蛇腹状に圧壊するようにした。後ろにいくにしたがって徐々に断面が大きくなるように、側面から見ると3度のテーパをつけてあり、安定的に前端部から圧壊するように設計されている。

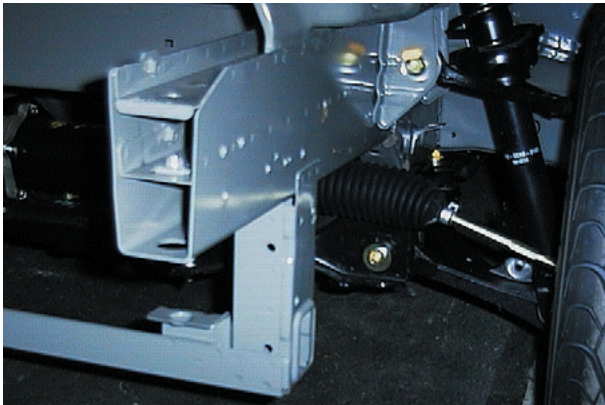


Fig.21 Photograph of straight front side member

次に、Fig.22に示すように、サイドメンバを前側からみた場合に「ダブルデッカ(二階建て)」断面となるように補強部材を配し、効率よく高い荷重を発生するように設計した。補強部材追加前と比較すると、強度の大きさに関係する角稜の数が4か所から6か所になることで約40%発生荷重が増加している。サイドメンバ全体への高張力鋼板の採用とあわせて効果的なエネルギー吸収性能と軽量化を両立させている。

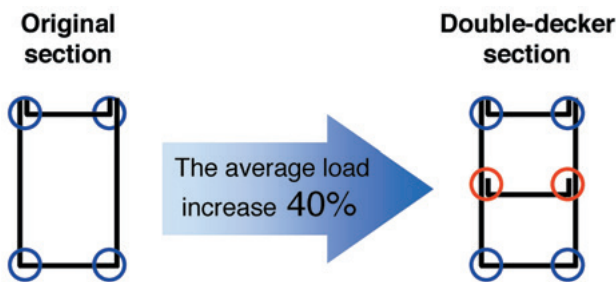


Fig.22 The effect of double-decker section

5. 新オープンボデー開発の成果

5. 1. ボデー剛性と重量

Fig.23にボデー剛性と重量の関係を示した。横軸はドアやボンネット、トランクフード等を除いたモノコックボデーの重量であり、縦軸はS2000をベースとした場合の剛性値の指標である。これらの図はS2000においてねじり剛性および曲げ剛性ともにボデー重量に対する性能値の効率が、クローズドボデーと同等またはそれ以上であることを示している。

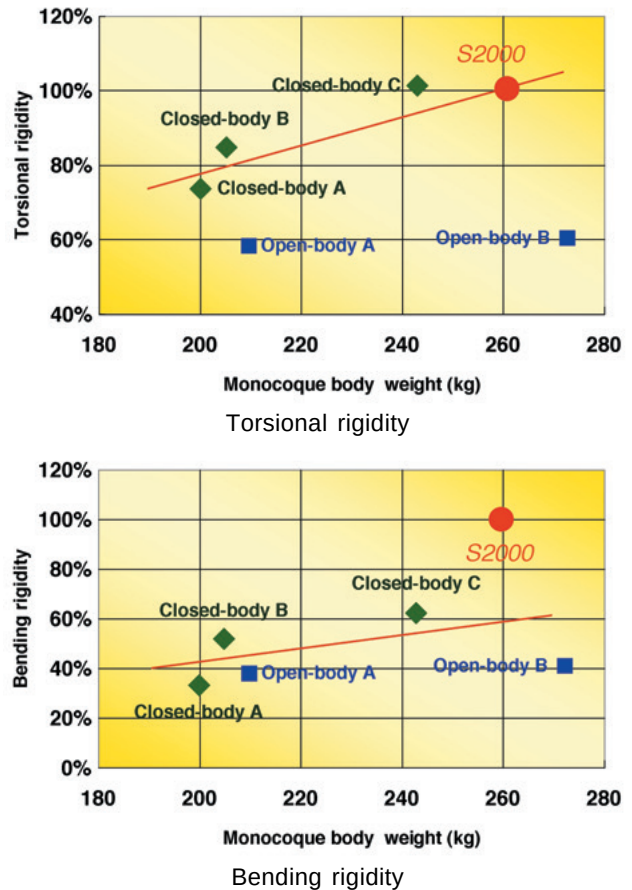


Fig.23 Body static stiffness- monocoque body weight

5. 2. 衝突安全性能と重量

衝突安全性能については、当初のねらい通り、日、米、欧の法規速度を上回る64km/h ODB衝突および55km/hフルラップ衝突テストにおいて、乗員の傷害軽減と生存空間確保に関してホンダが定めた高い独自基準をクリアした。具体的には、社内テスト結果として、オフセット衝突ではIIHS評価「GOOD」レベルを、フルラップ衝突では米国のNCAP(New Car Assessment Program)評価「★★★★★」レベルの性能を得た。

Fig.24は64km/h ODB衝突テスト後の写真である。衝突時のキャビン変形がほとんど無く、乗員の生存空間が十分確保されていることがわかる。



Fig.24 ODB 64km/h test result in HONDA

Fig.25に衝突安全対応の補強のために増加した重量を示す。フルラップ衝突やオフセット衝突などの前面衝突対応に要した重量は約5kgである。またそれ以外に、側面衝突対応に加えて転覆事故への配慮として行ったフロントビラー補強と座席後ろのロールバー追加を含めても合計で20kg弱であり、同レベルの衝突安全性能を備えたクローズドボデーと比較しても少ないことがわかる。このことは、衝突安全対応のためだけに追加した重量が極めて少なく、今回開発したS2000用の新オープンボデー構造(ハイXボーン)の衝突安全性能に対する重量効率がねらい通り非常に高かったことを示している。

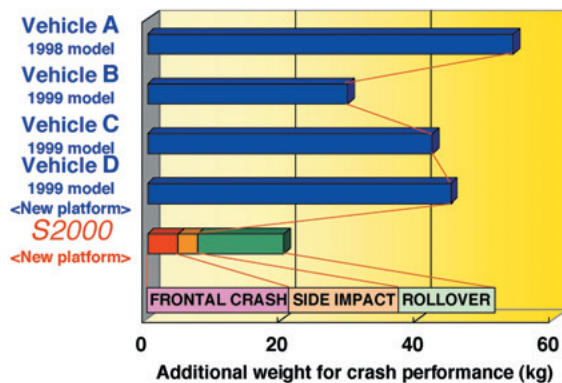


Fig.25 Comparison of additional weight for crash performance

6. まとめ

新開発のS2000用ボデー骨格構造を項目別に整理すると、

- (1)フロアトンネルのメインフレーム化
- (2)サイドメンバの完全ストレート化
- (3)フロアトンネルフレームとサイドメンバとの連結
- (4)「ダブルデッカ」断面フロントサイドメンバ

があげられる。

これらの新規構造により、クローズドボデーと同等以上のボデー剛性および衝突安全性能を、同等の重量にて実現することができた。

7. あとがき

弊社は自動車の開発にあたり、常に走る楽しさを追求し、操る喜びの水準を時代とともに向上させることに情熱を注ぎながら、安全性や機能性も高度に進化させてきた。

そして我々はS2000において、オープンカーの常識を超えた高いボデー剛性と、本格的スポーツカーの必要性能を損なうことなく世界最高水準の衝突安全性能を実現することで、「新世代リアルオープンスポーツ」という新しい価値観を創りだすことができたと考える。

将来、新しくオープンスポーツカーのボデー開発に携わる方々にとって、本稿が多少なりとも参考になることがあれば幸いである。

参考文献

- 1) 山内章裕ほか：オープンボデー車のラテラルシェイクの解析，自動車技術会 学術講演会前刷集，901, p197-201 (1990)
- 2) 平井敏彦ほか：ユーノスロードスターのボデー開発，マツダ技報，No.8, p94-100 (1990)
- 3) Toshihiko, Satoh & Kenji, Takada : Collapse and Energy Absorption of Thin-Walled Frame with Polygonal Section, the 15th ESV Conference (1996)

■ 著 者 ■



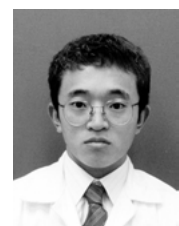
高井 章一



塚本 祥士



岡田 賢治



日比亜史也