

論文・解説

16

車両衝突現象における内部エネルギー評価に関する研究

Investigation on the Internal Energy Assessment in the Vehicle Crash Event

井上 実*¹ 渡辺 通成 木戸 啓人*³
 Minoru Inoue Michinari Watanabe Hiroto Kido
 伊東 紀明*⁴ 尾川 茂*⁵
 Noriaki Ito Shigeru Ogawa

要約

衝突安全性能開発では、より安全な車をいかに軽量の車体構造やフレームワークで実現するかが課題となっている。近年のCAE精度の向上・モデル規模の拡大にともない、衝突時の内部エネルギーが精度よく求められるようになってきている。この論文では計算と実験の双方を用いて内部エネルギーの等価性について検討し、更に車体構造の軽量化指標として内部エネルギーの有効性を提案する。

Summary

In the vehicle safety developments, it is the eternal and continuous challenge to realize the safety vehicles with the lighter weight body structures and frameworks. The recent improvement of the model accuracies along with the extended model sizes enables us to assess the internal energies precisely in the vehicle crash events by CAE. This paper assesses on the internal energies using both testing and CAE, and proposes to use the internal energy as the index for reducing the weight of the body structures.

1. はじめに

車両の衝突現象では、衝突時の車両が持つ運動エネルギーは、車両が潰れることによる歪みエネルギーと衝突後の反発等の運動エネルギーに分けて考えることができる。この車体各部での歪みエネルギーの分布と時間履歴特性は車体構造を設計する上で重要であると考えられる。これまでに車体構造に関する研究では、荷重や変形量が評価の主要指標として用いられており、バンパやフロントサイドレールに研究が注力されてきた。近年コンピュータやその応用技術の継続的な発達により、100万要素・節点を超える有限要素法モデルが扱えるようになってきている。これらのモデルでは、車両全体が等しくモデル化されており、全ての車体部品の内部エネルギーを等しい精度で評価することが可能になっている。本論文では、CAE内部エネルギーとロードセルによって計測された実験結果から算出されるエネルギーの等価性を示す。更に内部エネルギーを用いた検討を行い、車体構造を軽量化の視点で設計する際の指標のひとつとして内部エネルギーが活用できることを示す。

2. CAE内部エネルギーの等価性の確認

CAE内部エネルギーの精度を確認するために、ハット形状の試験体を用いた落錘試験と車両のフロントフレームを用いたバリア試験の2つで等価性の確認を行った。

2.1 試験体を用いた落錘試験

Fig.1に使用した試験体を示す。試験体は板厚1.4mmの軟鋼材を用い加工硬化の影響をより少なくするために折り曲げ製作とした。この試験体を用いて、単一および試験体の積み上げ状態の2つの試験を行った。それぞれについて内部エネルギーと落錘試験で計測されるバリア荷重を積分して算出されるエネルギーを比較した。

(1) 単一試験体を用いた落錘試験

Fig.2に落錘テストとCAEの変形モードの比較を示す。しわの数など変形モードも類似している。Fig.3にこの試験における荷重 - 変位線図、Fig.4に吸収エネルギー - 変位線図を示す。またTable 1には変形量やエネルギー値の比較を示す。荷重 - 変位線図で全体の荷重レベルは非常に似通っており、吸収エネルギー - 変位線図も非常に類似している。

*1 装備開発部
Interior & Exterior Components Development Dept.

*3~5 衝突性能開発部
Crash Safety Development Dept.

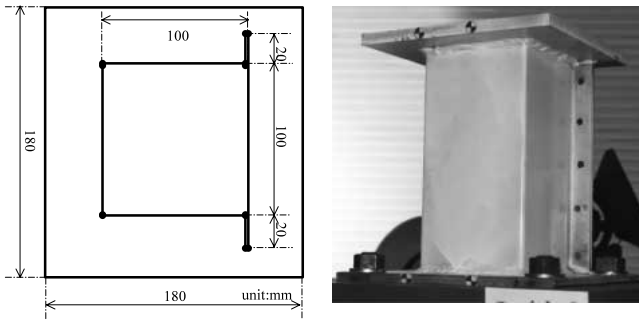
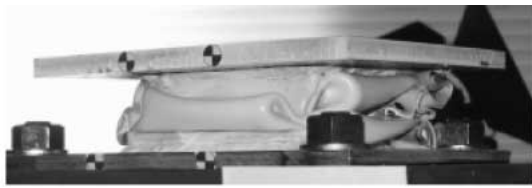
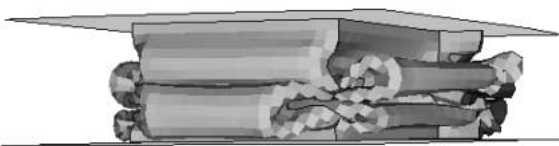


Fig.1 Test Piece (Section Shape and Actual Picture)



Drop Weight Test



CAE (B-T shell)

Fig.2 Deformation Modes : Single Test Piece

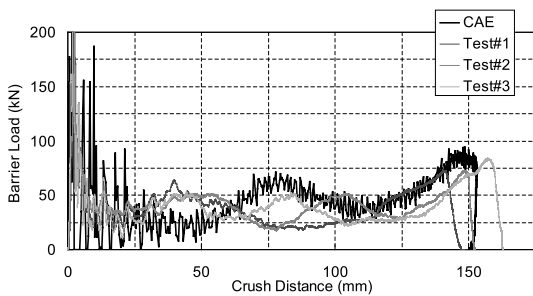


Fig.3 Load - Deflection Curves

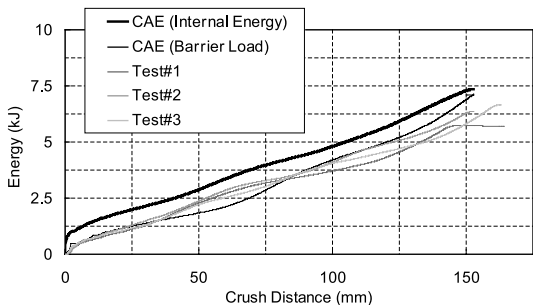


Fig.4 Energy Absorption Curve

Table 1に示すように実際の試験におけるバリア荷重から計算したエネルギー値の平均とは0.7kJの差があるが、この要因はスポット溶接破断や摩擦などと思われる。全てこれらエネルギーは十分に近い値を示しており、バリア荷重から計算したエネルギーとCAE内部エネルギーはこの単一試験体を用いた落錘試験において等価であるといえる。

(2) 2試験体積み上げ落錘試験

次に、より複雑なテスト形態として、Fig.5に示す2つの試験体を積み重ねた状態でのエネルギー比較を行った。上と下の試験体の板厚はそれぞれ1.0mmと1.4mmとし、上下いずれかの試験体を完全に潰した上でもう一方の試験体をある程度潰すエネルギーとなるように落錘試験の高さを設定した。Fig.6に試験とCAEによる変形モードをそれぞれ示す。わずかな差は認められるが、しわの数や潰れる順番など、全体の潰れモードは大変似通っている。Fig.7, 8およびTable 2にこの試験における荷重 - 変位線図, 吸収エネルギー - 変位線図, 変形量やエネルギー値の比較をそれぞれ示す。この試験では上下の試験体が同時に潰れないので、試験体のエネルギーの算出は上下の試験体がそれぞれ潰れるまでの荷重を積分して求めた。荷重 - 変位線図, 吸収エネルギー - 変位線図ともに非常に類似している。これらの結果を考えるとバリア荷重から計算したエネルギーとCAE内部エネルギーはこの2試験体積み上げ落錘試験においても等価であるといえることができる。

Table 1 Comparison of Energies

	Crush Distance	Actual Energy Applied	Energy Calculated from Barrier Load	CAE Internal Energy
Test	151mm	7.3kJ	6.4kJ	N/A
CAE	151mm	7.5kJ	7.1kJ	7.3kJ

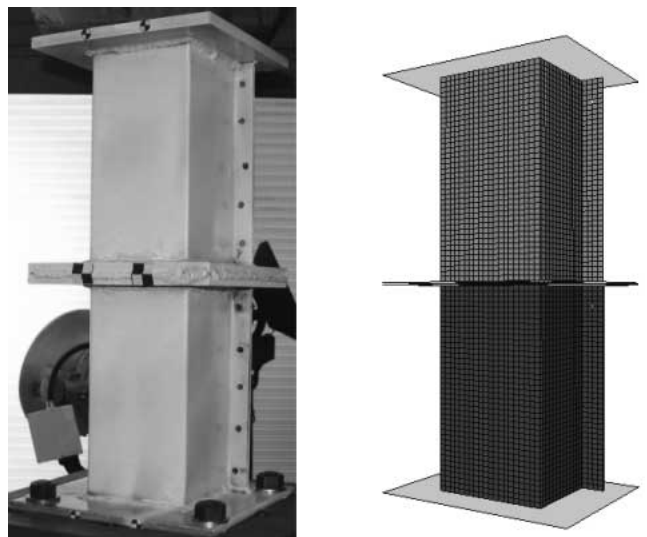
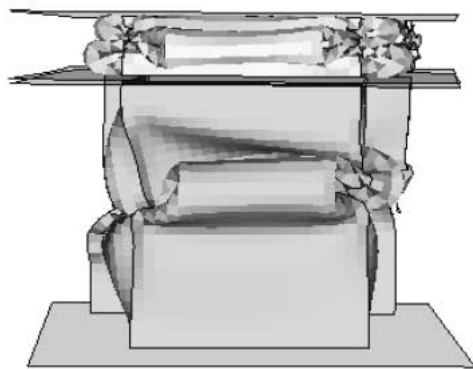


Fig.5 Drop Weight Test with Two Test Pieces Piled Up



Drop Weight Test



CAE

Fig.6 Deformation Modes : Two Test Pieces Piled Up

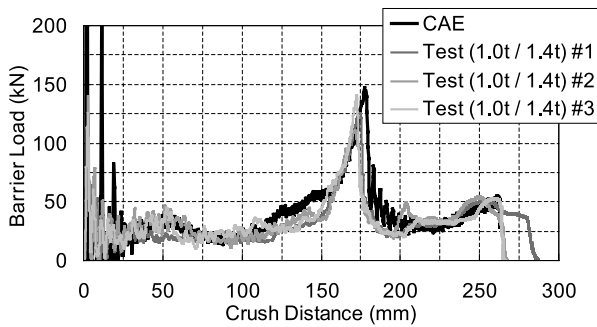


Fig.7 Load - Deflection Curves

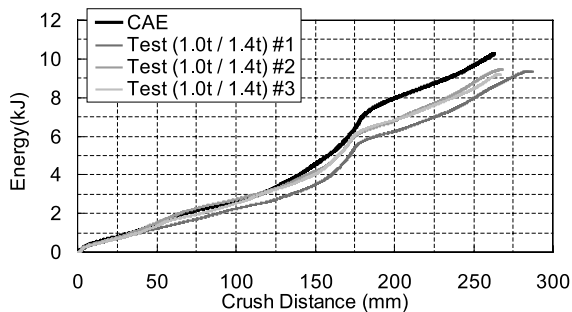


Fig.8 Energy Absorption Curve

Table 2 Comparison of Energies

	Crush Distance	Actual Energy Applied	Energy Calculated from Barrier Load	CAE Internal Energy	Upper Test Piece	Lower Test Piece
Test	266mm	10.4kJ	9.4kJ	N/A	5.4kJ	4.1kJ
CAE	263mm	10.5kJ	10.3kJ	10.3kJ	6.8kJ	3.5kJ

2.2 フロントフレームの台車試験

次に実車から切り出したフロントフレームを取り付けた台車を用いて、CAE内部エネルギーとバリアロードセルから計算したエネルギーの等価性を再度確認する。Fig.9に、台車への取り付け状態と、CAEモデルを示す。台車のテスト質量と剛壁に対する衝突速度は、それぞれ1,200kgと40km/hであり、全衝突エネルギーは74.1kJとなる。Fig.10に、テスト後のフロントフレームにおける変形モードの比較を示すが、変形モードはよく類似している。またFig.11（右側のみ）、12およびTable 3にこの試験における荷重 - 変位線図、吸収エネルギー - 変位線図、変形量やエネルギー値をそれぞれ示すが、ともに良い一致を示している。

以上述べてきた、単一、積み重ね、フロントフレーム台車試験の結果よりバリアロードから計算したエネルギーとCAEの内部エネルギーとの等価性が証明でき、CAEの内部

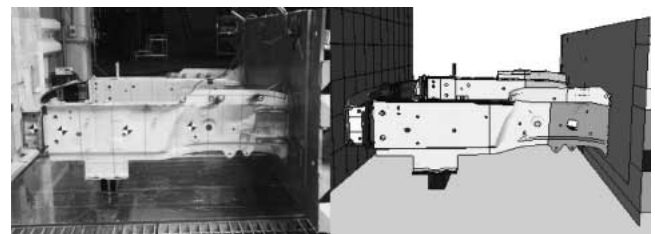


Fig.9 Cart Test of Front Frame

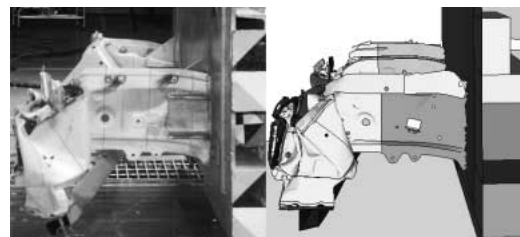


Fig.10 Deformation Modes of Front Frame

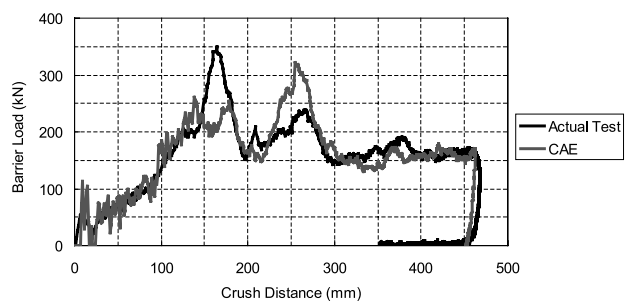


Fig.11 Load - Deflection Curves

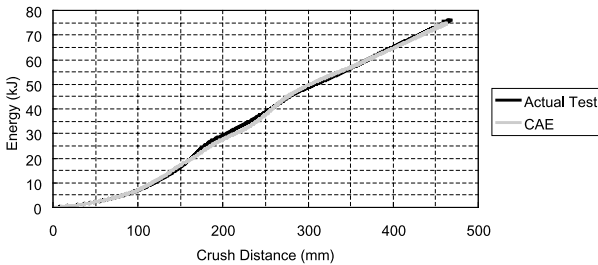


Fig.12 Energy Absorption Curve

Table 3 Comparison of Energies in Case of Cart Test

	Crush Distance	Actual Energy Applied	Energy Calculated from Barrier Load	CAE Internal Energy
Test	468mm	72.4kJ	76.1kJ	N/A
CAE	463mm	74.1kJ	74.2kJ	74.8kJ

エネルギーを衝突安全CAEに対する評価指標として使うことが可能であると考えます。

3. 内部エネルギーを用いた軽量化検討

CAE内部エネルギーを車体構造改善や軽量化活動に適用することの利点を次に述べる。Fig.13には前章で用いたフロントフレームを示す。フロントフレームはインナとアウトからなり、更にテラードブランクの境界線によってそれぞれ2つ、もしくは3つの領域に分かれている。この5つの領域の内部エネルギー分布をTable 4に示す。Table 4よりフロントフレームの半分以上のエネルギーが“ IN.Front ”で吸収されており、質量当たりのエネルギー吸収効率で見ると、“ IN.Front ”は“ OUT.Front ”や“ OUT.Mid ”の2倍のエネルギーを吸収していることが分かる。もしこれらの領域の効率が近い値あるいは同じにできれば、全ての領域が等しく働き効率的にエネルギーを吸収するといえる。

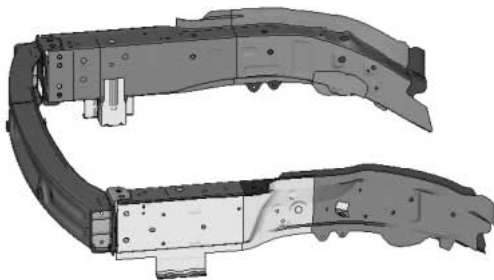


Fig.13 Front Frame

Table 4 Detailed Energy Absorption of Front Frame (Base)

	Thickness (mm)	RH			LH		
		CAE Internal Energy(kJ)	Part Mass (kg)	Efficiency (kJ/kg)	CAE Internal Energy(kJ)	Part Mass (kg)	Efficiency (kJ/kg)
Frame IN,Front	1.8	15.4	2.3	6.7	14.6	1.6	9.2
Frame IN,Rear	2.3	1.1	1.3	0.8	2.9	2.2	1.3
Frame OUT,Front	1.8	4.5	1.2	3.8	6.3	1.2	5.3
Frame OUT,Mid	2.6	2.7	0.8	3.3	1.9	0.8	2.3
Frame OUT,Rear	2.3	0.4	0.7	0.6	0.2	0.8	0.3
Each Side Total		24.1	6.3	3.8	26.0	6.5	4.0

そこでTable 5に示すように効率の高い部位の板厚を薄く、同時に効率の低い部位の板厚を厚くする組み合わせをいくつか検討した。評価に際しては質量、効率に加えて、現在の变形モード (Fig.10) および潰れ量 (Fig.11) についても比較した。Table 5に示すように、WR#3が質量、効率そして潰れ量の全てにおいて最も優れた結果を示している。WR#3における内部エネルギーの詳細をTable 6に示す。Table 6をTable 4と比較すると“ OUT.Mid ”などの部位がベースよりも機能し、多くのエネルギーを吸収していることが分かる。各部の効率値も同等で全体としての効率も向上しており、その結果、質量は5.3%の軽量化を達成した。Fig.14に質量と効率の変化、Fig.15に変形モードの変化を示す。元の変形モードは保持され、エネルギー吸収面からはFig.10に対してより軸圧壊モードとなり改善が見られる。

Table 5 Studies to Improve the Efficiency of the Energy Absorption

	Case Name	Base		W/R #1		W/R #2		W/R #3	
		RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH
Frame IN,Front	mm	1.8	1.8	1.6	1.6	1.8	1.6	1.8	1.6
Frame IN,Rear	mm	2.3	2.3	2	2	2	2	2	2
Frame OUT,Front	mm	1.8	1.8	2	2	2	2	1.8	2
Frame OUT,Mid	mm	2.6	2.6	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
Frame OUT,Rear	mm	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
Weight of Front Side Rails	kg	6.3	6.5	5.9	6.1	6.2	6.1	6.0	6.1
Weight Reduction	kg			Base	-0.81	-0.55	-0.68		
Internal Energy of Front Side Rails	kJ			50.1	50.9	49.8	52.0		
Efficiency of total Front Side Rails	kJ/kg			3.9	4.2	4.1	4.3		
Crush Distance	mm			463	509	488	464		

Table 6 Detailed Energy Absorption of Front Frame (WR#3)

	RH				LH			
	Thickness (mm)	CAE Internal Energy(kJ)	Part Mass (kg)	Efficiency (kJ/kg)	Thickness (mm)	CAE Internal Energy(kJ)	Part Mass (kg)	Efficiency (kJ/kg)
Frame IN,Front	1.8	16.2	2.3	7.0	1.6	11.6	1.4	8.2
Frame IN,Rear	2.0	1.3	1.1	1.2	2.0	5.3	1.9	2.8
Frame OUT,Front	1.8	4.6	1.2	3.9	2.0	6.1	1.3	4.6
Frame OUT,Mid	2.3	2.9	0.7	4.0	2.3	3.7	0.7	5.2
Frame OUT,Rear	2.3	0.2	0.7	0.3	2.3	0.1	0.8	0.1
Each Side Total		25.2	6.0	4.2		26.8	6.1	4.4

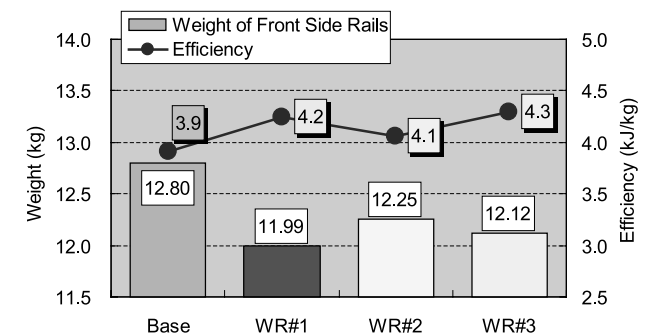


Fig.14 Studies to Improve the Efficiency

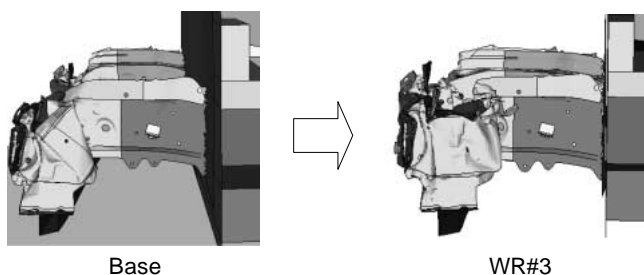


Fig.15 Deformation Modes in Case of WR#3

以上のように、変形量、加速度や力・荷重などの現在の評価指標に内部エネルギーあるいは効率という指標を加えることで軽量の車両構造を設計することが可能であるといえる。

4. おわりに

以上、CAE内部エネルギーが実験で計測される荷重から算出されるエネルギーと等価であることを示し、この内部エネルギーと効率は車両構造を軽量化の観点で設計する上での新しい評価指標とすることができ、更に効率を用いることで、構造の質量の削減が可能であることを示した。

本研究の落錘テスト実施に対し、住友金属工業(株)中澤嘉明様、田村憲司博士他同僚の方々へ感謝いたします。

著者



井上 実



木戸啓人



伊東紀明



尾川 茂