

(解説)

## 高強度鋼板の衝突特性と評価方法

### Estimation Methods and Testing Machines for the Evaluation of Impact Deformation Properties in High-strength Steel Sheets



向井陽一  
Youichi Mukai



渡辺憲一  
Kenichi Watanabe

Reduced car body weight for fuel economy and improved impact safety are increasingly in demand in the automobile industry. High-strength steel sheets have been developed for this purpose. The amount of such steels used in the industry are on the rise. The dynamic properties of these steels were investigated to improve automobile crash precision simulation. FEM analysis show that the crush test, based on the properties of high speed tensile test, rather than that of the static speed tensile test, is able to correctly estimate the absorbed energy of the steel's collapse.

まえばき = 地球環境保護の動きに対し、自動車の燃費向上、CO<sub>2</sub> ガス排出量を抑制する要求が社会的に高まっている。このためには、車体重量の低減が不可欠である一方、衝突安全に関する法的規制が強化されており、軽量化と安全性向上を両立させる技術開発が強化されている。これに対し、車体重量の約 70% を構成する鉄鋼材料を軽量化することは有効な方法であり、超軽量鋼製車体の開発プロジェクトである ULSAB (Ultra Light Steel Auto Body) 及びその次世代プロジェクトである ULSAB-AVC (ULSAB-Advanced Vehicle Concept) では、鉄鋼材料の最適な利用による大幅な車体軽量化と衝突安全性の両立の可能性が提示された<sup>1)~3)</sup>。また高強度と高加工性を兼ね備える新しい高強度鋼板(以下ハイテン)が開発されており、適用部材の拡大とともにその使用量が増大しつつある。

ハイテンを用いた衝突特性の評価については、これまでも多くの検討がなされている<sup>4)~6)</sup>。近年、新車開発の期間短縮とコストダウンのため、各種シミュレーションが自動車開発技術に取入れられており、衝突安全性の向上については、車両の衝突シミュレーション技術の開発・実用化が進んでいる。

自動車の衝突時に車体部品に作用するひずみ速度は 100 ~ 数 100/sec 程度といわれており、衝突シミュレーション精度の向上には、部材を構成する材料について実際の衝突時の変形特性を正確に把握することが重要である。本報では、ハイテンの高速変形特性を評価するための高速引張試験方法及び構造部材として組立てられた部品の衝突特性を評価する各種衝撃圧壊試験機について紹介する。

#### 1. 高速引張試験方法

##### 1.1 高速引張試験

鋼板の高速引張試験方法としては、Hopkinson-Bar 法

や One-Bar 法などが一般に知られている。

当社では、鋼板の高速変形時の機械的特性の調査に、電気油圧サーボ式の高速度引張試験機を用いている。本試験機の模式図を図 1 に示す。本試験機は、試験片上部に設置したスライダの助走距離(100mm)の間に、油圧シリンダを所定速度まで加速したあとに引張試験を行うものであり、ひずみ速度 0.1/sec ~ 1 000/sec の範囲で任意のひずみ速度にて鋼板の応力 - ひずみ曲線を測定することが可能である。また比較的大きな試験片を使用することができることが特徴である。本試験機で使用する試験片の形状を図 2 に示す。本試験機では引張速度が高速になるとロードセルが応答しなくなり、正確な応力が測定

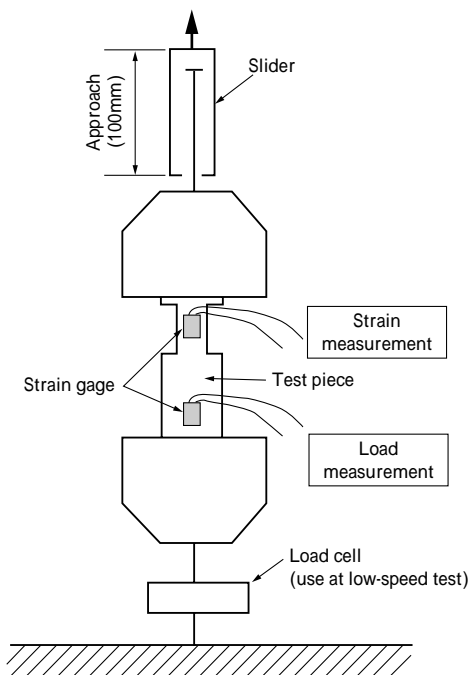


図 1 高速引張試験装置

Fig. 1 Schematic illustration of high-speed tensile test machine

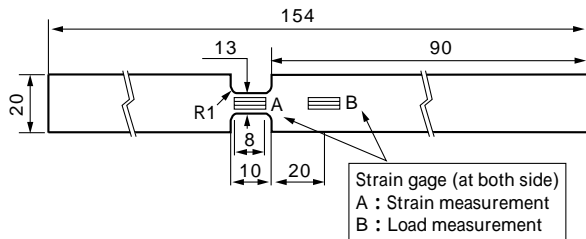


図2 高速引張試験の試験片形状  
Fig. 2 Schematic illustration of high-speed tensile test specimen

できないという問題が生じるため、試験中の応力変化は試験片つかみ部の表裏面に貼付けたひずみゲージで測定している。またひずみ測定は、試験片平行部に貼付したひずみゲージにて行った。ただし、ひずみゲージの測定範囲(0~数%)以上のひずみは、ひずみゲージで測定したひずみ速度がほぼ一定に達したあと、そのひずみ速度が一定に保たれると推定した。

### 1.2 試験結果例

高速引張試験の一例として図3・図4に、表1に示す供試材A・Bをひずみ速度0.1/sec, 875/secで試験を実施したときの公称応力-公称ひずみ線図を示す。各鋼板とも、高ひずみ速度域では変形応力が大きく上昇していることが分かる。高ひずみ速度ではノイズが混入しているが、応力の評価は十分可能だと考えられる。

### 1.3 衝突シミュレーションと試験の整合性

これらの引張試験の結果を用い、部材の衝撃圧壊特性

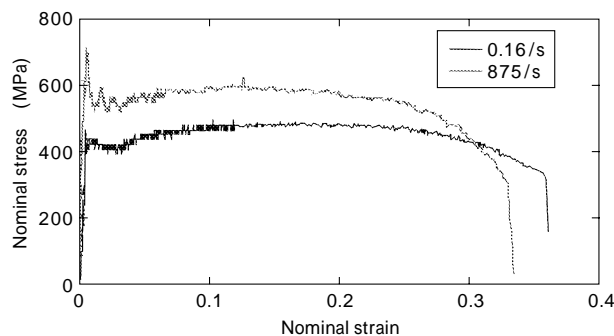


図3 公称応力-公称ひずみ線図 (440MPa)  
Fig. 3 S-S curve of high-speed tensile test (440MPa)

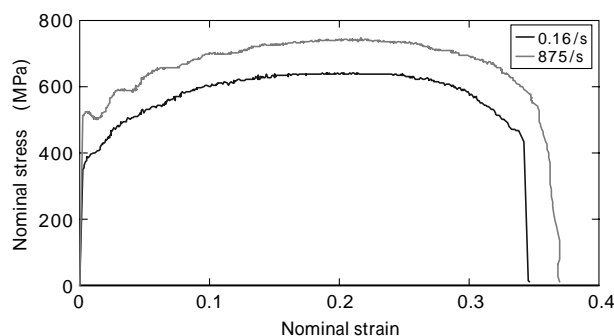


図4 公称応力-公称ひずみ線図 (590MPa)  
Fig. 4 S-S curve of high-speed tensile test (590MPa)

表1 供試材の機械的性質

Table 1 Mechanical properties of used steels

	Thickness (mm)	YP (MPa)	TS (MPa)	El.(%)
440MPa (A)	1.6	344	448	33
590MPa (B)	1.4	323	609	29



図5 角筒の変形形状  
Fig. 5 Result of FEM simulation

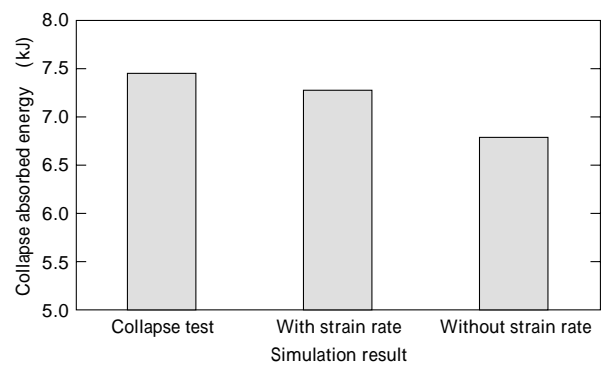


図6 圧壊試験とシミュレーションの圧壊吸収エネルギーの比較 (590MPa)

Fig. 6 Comparison of collapse absorbed energy of test result and simulation (590MPa)

のシミュレーションを行った。さらに成形品による実圧壊試験を行い、シミュレーション結果と比較した。部材としては、フロントサイドメンバと呼ばれる自動車の前面衝突時の衝撃吸収用部品を単純化した角筒モデルを用いた。板厚は1.4mmで、70×70mmの正方形断面、軸方向長さ300mmの形状とした。シミュレーションは有限要素法による、動的陽解法を用いた非線形解析にて実施した。成形品の実圧壊試験には、自由落下式衝撃圧壊試験装置を用いた(図7後述参照)。図5にシミュレーションの結果を示す。また図6に試験値及び鋼板のひずみ速度依存性を考慮した場合と考慮しない場合での、変位100mmでの吸収エネルギーの計算結果を示す。これよりシミュレーションの結果は、鋼板のひずみ速度依存性を考慮した場合の方がより試験値に近い値を示すことが分かる。

## 2. 各種衝突試験装置の紹介

当社では、構造部材として組立てられた部品での衝撃圧壊特性を評価する各種衝撃圧壊試験機を有している。以下にその設備を紹介する。

### 2.1 落重式衝撃圧壊試験機

図7に試験機の模式図を示す。本試験機は自由落下式の衝撃圧壊装置で、圧壊試験は、重さ約200kgの落錘を高さ11.3mから自由落下させ、試験体を圧壊するもので

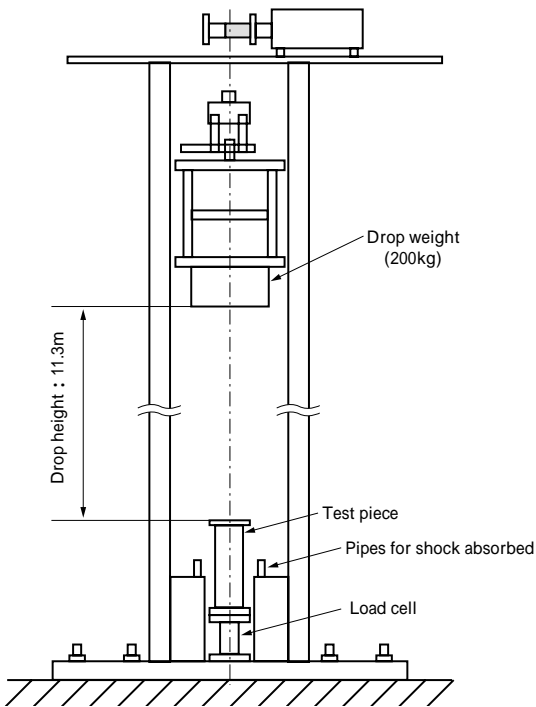


図7 落重式衝撃圧壊試験機  
Fig. 7 Schematic illustration of apparatus for drop test

ある。落錘が試験体に衝突する速度は、14m/sec (50km/h)である。本試験機は、フロントサイドメンバと呼ばれる自動車の前面衝突時の衝撃吸収部材を模擬した角筒成形材の圧壊試験をはじめ、ピラー類の側突試験など各種高速圧壊試験が可能である。

### 2.2 振り式衝突試験機

図8に試験機の模式図を示す。本試験機は、台車に取付けた試験体に振子を衝突させるもので、衝突試験は重量約1500kgの振子を斜め上方に振上げ、衝突速度8km/hで衝突させる。本試験機はバンパビームなどの衝突試験に用いられる<sup>7)</sup>。

### 2.3 バリヤ式衝突試験機

図9に試験機の模式図を示す。本試験機は試験体を台車に取付け、錘の落下により台車を高速で引張り、圧力壁に取付けられたバリヤに衝突速度30km/hで衝突させるものである。本試験機は大型部品で試験できることがその特徴であり、実車サイズでの衝突試験が可能である。

むすび=自動車の設計、開発工程においては、その性能評価のためあらゆるシミュレーション技術が利用されている。衝突シミュレーションについては実車レベルでの

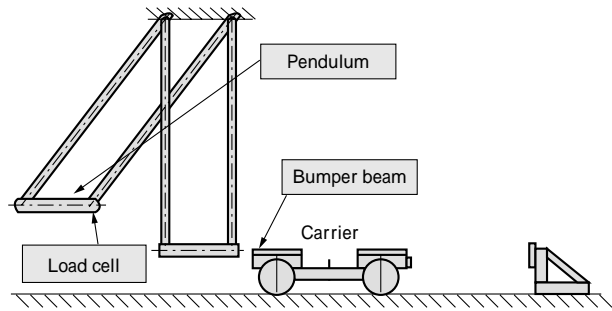


図8 振り式衝突試験機  
Fig. 8 Schematic illustration of apparatus for pendulum crush test

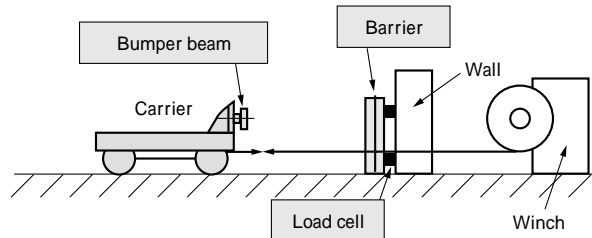


図9 バリヤ式衝突試験機  
Fig. 9 Schematic illustration of apparatus for barrier crush test

性能評価を可能にすることを最終目標とし、今後は部品、モジュール単位でのさらなる精度向上が重要となる。このためには、材料の持つ変形特性のみならず、部品、モジュールへの製造工程で加工、熱処理などによって材料特性がどのように変化するかを明確にし、部材としての状態を正確に把握する必要がある。シミュレーション精度の向上につとめ、衝突安全と軽量化を両立する材料を提供し、地球環境を保護する社会的使命を少しでも果たすよう努力していきたい。

### 参考文献

- 1) 栗山幸久ほか：自動車技術会，材料フォーラム（2002）p.16.
- 2) 吉武明英ほか：自動車技術会，材料フォーラム（2002）p.22.
- 3) 岩谷二郎：自動車技術会，材料フォーラム（2002）p.28.
- 4) 渡辺憲一ほか：CAMP-ISIJ,9（1996）p.1381.
- 5) 渡辺憲一ほか：CAMP-ISIJ,10（1997）p.378.
- 6) 渡辺憲一ほか：自動車用材料シンポジウム資料，日本鉄鋼協会自動車用材料検討部会（1997）p.73.
- 7) 石飛秀樹ほか：自動車技術会論文集，Vol.29, No.2, 9834330（1998）p.4.