

# 2113 筒状体の軸衝撃圧潰における変形制御

## Control of Crush Deformation of Tubular Structure in Axial Impact

○山下 実(岐阜大工) 服部 敏雄(岐阜大工)  
Minoru YAMASHITA and Toshio HATTORI, Gifu university, 1-1 Yanagido Gifu-shi, Gifu

Keywords: Crush deformation, Plasticity, Impact, Tubular structure, Control

### 1. はじめに

車体等に対する安全性能の向上と軽量化の両立の要求に対して、著者の一人はハット型強度部材や各種筒状体の軸衝撃圧潰変形挙動に関する一連の研究を行い、各種断面形状が変形に及ぼす影響を解明してきた<sup>1)~4)</sup>。通常、この種の部材には、所望位置に座屈変形を生じさせる必要があり、部材に形状の初期不整等を設けることによって座屈を制御することも行われている。

本報では、まず、初期形状不整を設けたハット型断面の筒状体を用い、座屈変形形状の制御を試みた。衝撃実験に加えて数値計算(DYNA3D<sup>5)</sup>)でも検証した。また、以前に行った形状不整を設けない実験において、座屈変形パターンが不規則になる時、圧潰強度が大きい場合があった。この現象については数値計算で再現を試みた。

さらに、著者らは、筒状体の衝撃座屈変形において変形を制御する方法として、衝撃時に筒状体に生じる加速(減速)度を利用して、所望する箇所を座屈変形の起点とすることを考えた。この制御法については、数値計算を援用して、その有効性を確認した。

### 2. ハット型強度部材における初期形状不整による座屈変形の制御

板厚 1 mm の 590 MPa 級高張力鋼板で、強度部材を製作した。断面形状と初期形状不整を Fig.1 に示す。軸方向の長さは 200 mm、フランジ部のスポット溶接ピッチは 20 mm である。部材軸方向の形状不整として、ハット部品の角部に深さ 2 mm の 90° V 字状のくぼみを、Case-1: 下から 104 mm のみ、Case-2: 44, 84, 124, 164 mm および上端の 5 箇所につけた。準静的および落錘衝撃試験機援用の衝撃実験(衝撃速度: 10 m/s)、数値シミュレーションを行った。溶接箇所は曲げ変形に対する剛性が高いため、くぼみ位置は溶接中心から 4 mm 離れた。

Case-2 について、実験および計算で得た圧潰変形過程を Fig.2 に示す。共に形状不整を付けた箇所から座屈変形は開始したが、くぼみの形状はすべて同一であるため、衝撃速度 10 m/s 程度では衝撃端のくぼみが開始位置にはならなかった。また、実験、計算とも、形状不整の影響である振幅の小さいうねりが圧潰の初期段階から生じた。変形進行中も保持されており、繰返し座屈変形の態様と相関性を持つ。もちろん、開始位置を定めるには、くぼみ寸法を工夫すればよい。

各種条件下のクラッシュ強度(圧潰力/材料部分の断面積)を Fig.3 に示した。実験では初期形状不整を付けた場合、クラッシュ強度はやや増加した。一方、計算では若干低下したが、有意差とは見なし難く、この程度の初期形状不整はクラッシュ強度に影響をほとんど及ぼさないとと言える。

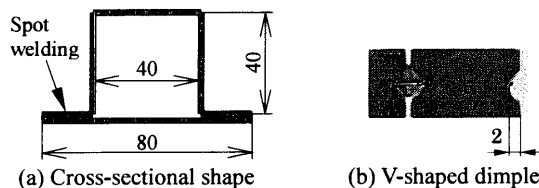


Fig.1 Cross-sectional shape and 90° V-shaped dimple. (Sheet thickness: 1.0 mm, Longitudinal length: 200 mm)

### 3. ハット型強度部材におけるクラッシュ強度の制御

衝撃圧潰変形において、初期形状の対称面に関して、左右の対称性をほぼ保った例と、変形中に非対称形状の変形を示した例を Fig.4(板厚 1 mm の 440 MPa 級高張力鋼板)に示す。それぞれのクラッシュ強度は、81MPa および 100MPa であり、非対称となった場合の方が 20%以上高かった。非対称形状になった要因は、溶接位置などの複合的要因によるものであろうが、変形の不規則性が不測の余剰変形を誘発し、結果的にクラッシュ強度が上昇したものと考えられる。

この現象は、圧潰中に任意箇所形状の対称性が崩れるものである。これを数値計算で再現するため、ハット部の三面の節点すべてに面外方向に不規則な寸法的擾乱を与えた。これも形状不整の一種であるが、不整が特定箇所に偏らないところが異なる。凸部高さの最大値  $\delta$  を種々に規定し、各節

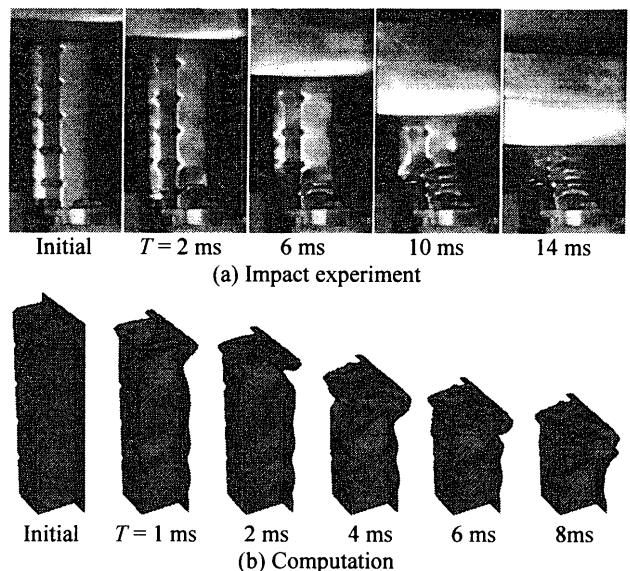


Fig.2 Progressive deformation patterns where V-shaped dimples are introduced at corners of hat part. Material: 590MPa class high strength steel

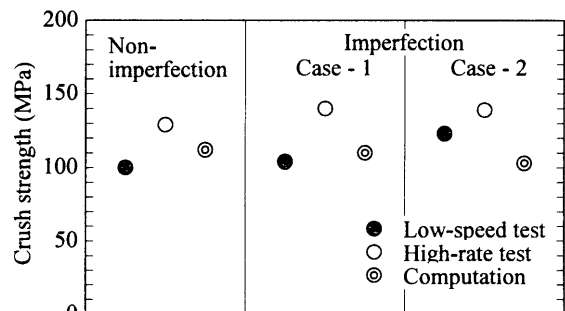
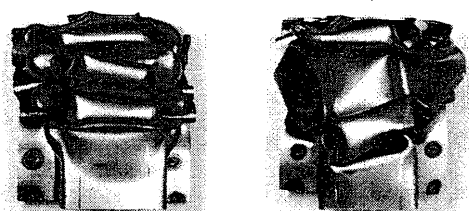


Fig.3 Crush strengths where V-shaped dimples are introduced at corners of hat part.



(a) Regular pattern (b) Irregular pattern  
Fig.4 Regular and irregular collapse patterns.  
Material: 440MPa class high strength steel



$\delta$ (mm): 0.05 0.25 1.00 1.50 2.00

Fig.5 Crush patterns for various wavy faces in computation.

点の凸寸法は乱数を使用して与えた。

各 $\delta$ に対する圧潰形状とクラッシュ強度をそれぞれ Fig.5 に示す。  $\delta=2.00$  mm においては、変形形状が明らかな左右非対称を示しクラッシュ強度が比較的高く、実験で見られた現象をシミュレートできた。ここで採った方法は、不規則な変形形状を積極的に誘起する一つの実験的な方法となり得るものと考ええる。

#### 4. 衝撃時の加速(減速)度を利用した座屈変形の制御

車両においては主として想定する衝突速度は 10 m/s 程度である。この速度域において局部的に部材の特性を変えずに(くぼみ等によらずに)、繰り返し座屈変形を所望位置で生じさせることができれば、より好ましい制御法と言えよう。

そこで、Fig.6 に示すように正方形断面の筒状体を対象として、側面に板状の小さい錘を設け、これを繰り返し座屈変形の基点とする制御法について、数値計算で検証を試みた。すなわち、筒状体に加速度が生じる時、その錘の慣性を利用して側壁に曲げ変形を強いるのである。

質量 100 kg のブロックと一体になった長さ 400 mm の筒状体が、固定壁に衝突することを想定した。筒状体は一辺 50 mm の正方形断面で、ヤング率 72 GPa、ポアソン比 0.34、塑性特性は  $\sigma=314e^{0.084}$  MPa で与えた。座屈変形の基点制御用の錘の寸法は、 $20 \times 20 \times 5$ (厚み) mm で質量は 20 g である。筒状体の衝突端から 40 mm の位置に対面に 2 箇所付けた。

制御用の錘を付けない通常筒状体および制御用の錘を付けた壁厚 1.0 および 2.0 mm の筒状体について、変形進展の様子を Fig.7 に示す。まず、制御用の錘を付けない通常筒状体においては、質量 100 kg のブロックとの結合箇所で座屈変形が始まり、そこから変形が進展した。一方、制御用の錘を付けた壁厚 1.0 mm の筒状体では、一旦、質量 100 kg のブロックとの結合箇所で座屈変形が始まるものの、制御用の錘が新たな座屈変形を強制的に生じさせ、ブロックとの結合箇所での座屈変形を停止させていることがわかる。そして、繰り返し座屈変形は制御用の錘を付けた箇所から進行した。なお、筒状体の板厚が 2 mm の場合、側壁部の曲げ剛性が高く座屈変形の制御ができない結果となった。

この方法は、強度部材の剛性を通常使用時に犠牲にすることなく、所望の箇所を保護できる方法であり、筒状体以外の変形制御にも可能なものと考ええる。

#### 参考文献

- 1) M. Gotoh et. al., NUMIFORM 2001, 2001, pp. 945-950.
- 2) 山下実ほか, 機論 A, 68-666, 2002, pp.217-212.

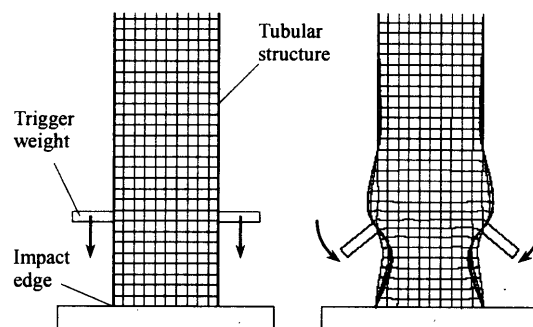
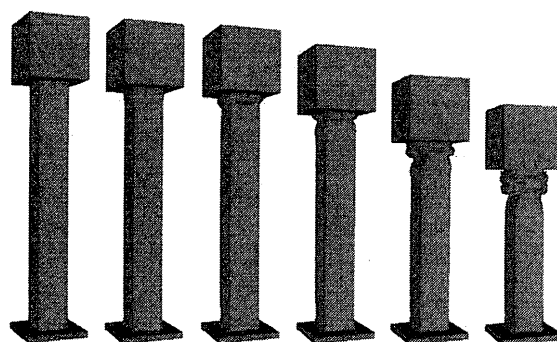
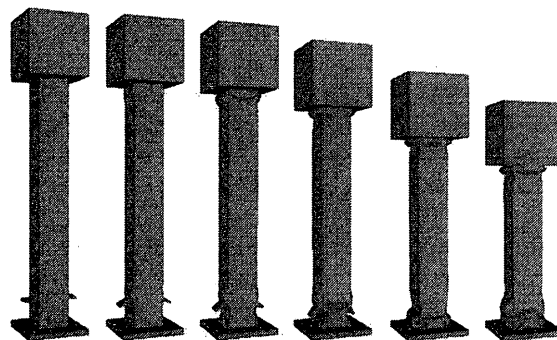


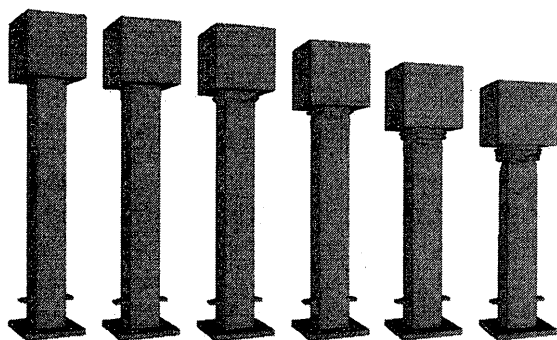
Fig.6 Schematic illustration of bending deformation of the structural wall induced by the trigger weight.



(a) No trigger weight, Wall thickness: 1.0 mm



(b) Trigger weight attached, Wall thickness: 1.0 mm



(c) Trigger weight attached, Wall thickness: 2.0 mm

Fig.7 Progressive collapse patterns of moving square column and weight into rigid wall.

- 3) 山下実ほか, 機論 A, 68-668, 2002, pp.668-673.
- 4) M. Yamashita et al., J. Mat. Proc. Tech., 140, 2003, pp.59-64.
- 5) Hallquist, J.O.: DYNA3D, User's manual Rev.5, 1989.