

2728 角筒の衝撃軸圧縮における座屈しわ発生位置の制御 Control of Onset of Buckling Lobe in Axial Impact of Square Tube

正〇 山下実(岐阜大工) 奥山智仁(岐阜大院) 正 服部敏雄(岐阜大工) 正 西村尚哉(岐阜大工)
Minoru YAMASHITA, Tomohito OKUYAMA, Toshio HATTORI, Naoya NISHIMURA, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu

The square section tube was axially compressed under the dynamic condition exhibiting a progressive buckling pattern with multi lobe. The onset of the first buckling was controlled by the inertial effect arising immediately after the impact, in which the inertia force was induced by the solid mass attached to the tube wall. Impact experiment with the aid of drop-hammer and the corresponding numerical simulation were conducted. Experimental observation with a high-speed video camera and the numerical simulation revealed that the control by the inertial force was successful.

Key Words : Axial Crush, Square Tube, Impact Collapse, Impact Experiment, Numerical Simulation

1. 緒言

自動車車体に対して衝突時の安全性を確保するためには、ボディ強度部材の衝突時における塑性変形様式が、衝撃エネルギーの吸収効率に対して極めて重要で、関連する研究は多い(たとえば1)~3)。しかも、車体に対する軽量化の要求も重要でこれらを両立させた厳密な設計が求められる。

強度部材は繰返し塑性座屈変形して衝撃エネルギーを吸収するため、通常、強度部材の一部にデント部などを付けてつぶれ強さを低くすることにより、変形様式をコントロールしている³⁾。しかし、この方法ではデントの加工工程が必要であり、部材の局所的な剛性の低下も免れない。

著者らは、この種の繰返し塑性座屈変形の制御法として、衝撃時の加速(または減速)度によって生じる慣性力を利用して所望箇所に変形を開始させる制御法を考案し、限定的だが検証した⁴⁾。本報では、各種衝撃速度(5, 7.7 m/s)でその有効性に関して実験および数値計算で詳細に検証した。

2. 慣性力を利用した変形制御法

筒状体が固定壁に衝突した場合を考える。筒状体は側壁にまず周期的な弾性うねり変形を生じる。その後、逐次座屈しわを形成していく。しかし、10 m/s 程度までの衝突速度では、寸法精度など実験誤差の影響により最初に生じる座屈しわの位置は定まらない。本報では Fig.1 に示すように変形を開始させたい位置に錘を付けておき、衝突時の慣性力を利用して側壁に曲げ力を作用させることにより、変形の開始位置を定めることを考えた。

3. 実験的検討

3.1 実験方法および実験条件

供試材はアルミニウム合金 A6063-T6 の角筒押出し材である。機械的特性を Table 1 に示す。試験筒状体は Fig.2 に示す

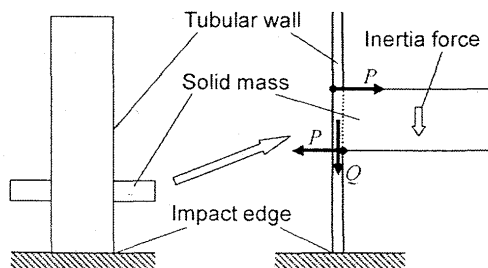


Fig.1 Solid mass attached to the tube wall generating the bending force on the wall

Table 1 Mechanical properties of tube material (A6063-T6)

C (MPa)	n	σ_0 (MPa)	U.T.S. (MPa)	E (%)
290	0.08	193	219	12

Plastic property: $\sigma = C\varepsilon^n$, σ_0 : Initial yield stress,
U.T.S.: Ultimate tensile strength, E: Total elongation

ように、長さは 200 mm、横断面は一辺 50 mm の正方形で、壁厚は 2 mm である。また、内側、外側コーナー半径はそれぞれ 3, 5 mm である。座屈しわ制御用の錘は、寸法 25×25×15 mm の SS400 製のブロックで、衝突端から 40 mm の位置で対面に 2 個取付けた。裏板(2.3' 鋼板)を当ててボルトとナットで固定した。

実験には落錘衝撃試験機を使用し、筒状体は落錘につかみ部 40 mm で取付けた。落錘の質量は 60 kg である。衝突速度は約 7.7 m/s または、5 m/s とした。実験における変形の様子は高速度ビデオカメラで記録した。

3.2 実験結果および考察

筒状体の座屈開始位置を制御しない場合、Fig.3 に示すように座屈変形を開始する位置は定まらない。また、大変形が生じていない部分にはうねりが残った。例として、衝突速度 7.7 m/s の時の変形進行の様子と圧縮応力を Fig.4 に示す。その時のクラッシュ強度: [繰返し座屈変形中の平均的圧縮力] / [材料部分の断面積]は、約 57MPa であった。

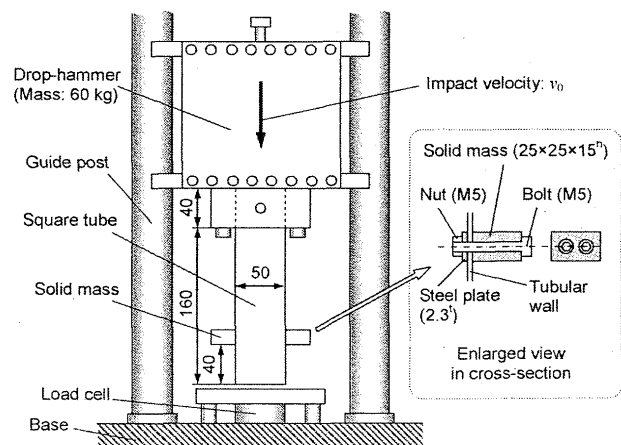


Fig.2 Testing setup and specimen configuration

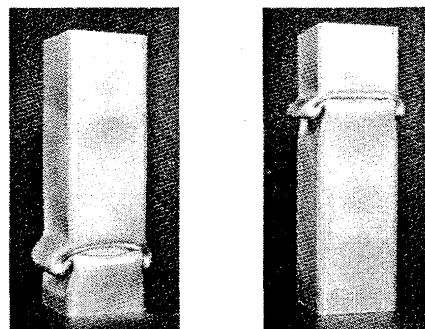


Fig.3 Examples of final shapes where the square tubes are impacted to rigid plate
Impact velocity: 5m/s

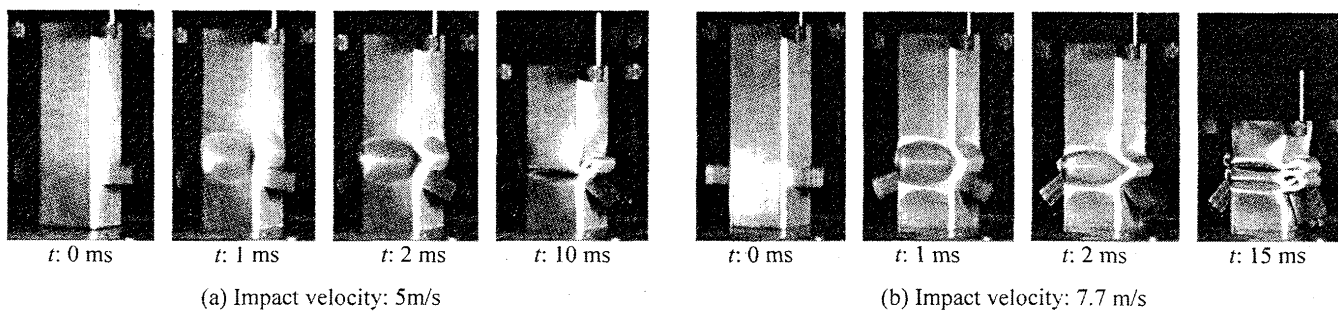


Fig.4 Examples of progressive deformation patterns (Time: t)

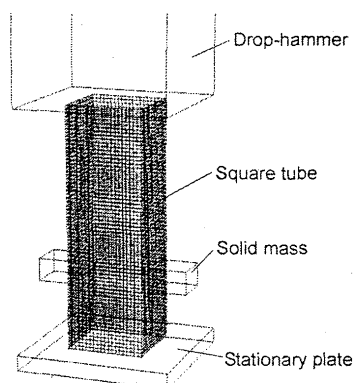


Fig.5 Numerical model of impact test
(The upper portion of the drop hammer is not drawn due to the spacing)

一方、座屈変形開始位置の制御のために錘を取付けた筒状体については、Fig.4に示すように錘取付け部で座屈変形の起点が生じると、そのまま上部へと繰返し座屈変形は進行した。ここでFig.3で見られたうねりは認められず、塑性変形範囲を集中させたことに注目したい。クラッシュ強度については、錘を付けない場合と同様な値であり、衝撃エネルギー吸収率への影響は見られなかった。

4. 数値的検討

4.1 計算条件

筒状体は弾塑性体を仮定し、弾性特性は、ヤング率 72 GPa, ポアソン比 0.34 で与えた。一方、塑性特性は実験で用いた供試材と同様に設定した。材料密度は 2.7 g/cm^3 とした。ソルバーは動的陽解有限要素法コード DYNA3D⁵⁾である。正方形断

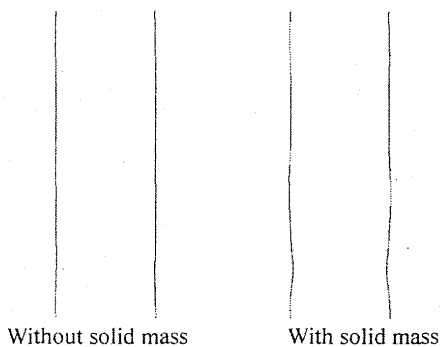


Fig.7 Cross-sectional profiles along the tube axis at time 0.25 ms after the beginning of the impact
Impact velocity: 7.7 m/s

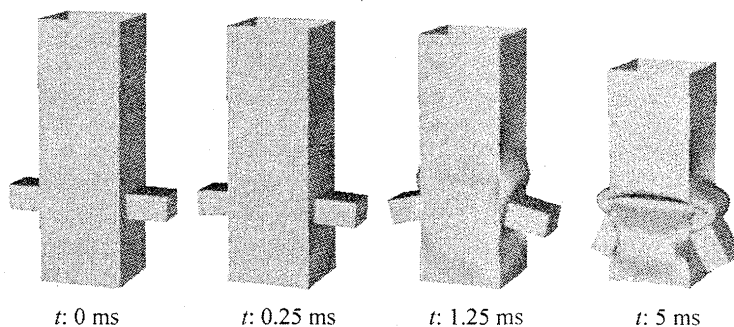


Fig.6 Collapse patterns for the tubes with solid mass in computation
(Impact velocity: 7.7 m/s, Mass of drop-hammer: 60 kg, Time: t)

面の筒状体は 4 節点シェル要素(Belytschko-Tsay shell)を用い、Fig.5に示すようにフルモデルで計算したが、コーナーの丸みは省略した。

4.2 計算結果

衝突速度 7.7 m/s の場合について、変形の様子を Fig.6 に示す。衝突後 0.25 ms の時点で錘の慣性力によって、壁に曲げ変形を生じていることが観察できる。

また、衝突後 0.25 ms の時点における筒状体の長手方向断面形状を Fig.7 に示す。錘を付けて座屈開始位置の制御を行った筒状体の側壁は、その位置で曲げの塑性変形が生じている。

5. 結言

筒状体の衝突時の塑性座屈変形における慣性力を利用した制御法に関して、衝撃試験および数値計算でその有効性を確認した。この方法はデント部による変形の制御法ではないため、強度部材の剛性を犠牲にすることなく、変形を制御できる方法となり得るものと考えられる。もちろん、筒状体以外の構造物の変形制御にも適用は可能であると考えられる。また、ここで行った実験では、錘が必要で強度部材全体の質量は増すことになる。しかし、実際の車両等では、取付け部品などをうまく配置することでその代用が可能となるものと考えられる。さらに、変形の制御を行わない場合、筒状体の大変形部以外にうねりが残ったが、座屈変形の起点を制御するとうねりは消え、損傷範囲を限定させた。

参考文献

- 1) M. Langseth, et. al., Thin-Walled Struct., 32(1998), 127.
- 2) M.D. White et. al., Int. J. Mech. Sci., 41(1999), 179.
- 3) 山下実他, 機論 A, 68-666(2002), 217.
- 4) 山下実他, 機講論, No.06-1(2006), 273-274.
- 5) Hallquist, J.O.: DYNA3D, User's manual Rev.5, 1989.