

2219 溶接部を持つ中空構造体の動的軸圧潰変形 Crush Behavior of Hollow Structure with Spot-Welding Portions

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

Hat-shaped hollow structure is axially compressed under impact or quasi-static condition. The structure is composed of hat-shaped part and flat plate connected by spot-welding. Impact velocity is 10 m/s. Test materials are mild steel and 3 kinds of high strength steel sheets. Computation of crush behavior is also performed using a dynamic explicit FEM, in which the spot welding is numerically considered. Simulated collapse patterns well agree with the experimental ones. The crush strength is larger for the shorter hat-height being consistent with the experimental result. In computation, the initial peak load is eliminated introducing the geometrical imperfection in the vicinity of the impacted edge. Impact oblique to the structural axis decreases the crush strength, even when the bending type collapse does not appear.

Key Words: Crush Deformation, Impact Strength, Hollow Structure, Spot Welding, Computation

1. はじめに

車体等に対する安全性能の向上と軽量化の要求に関連して、著者らは各種断面形状の中空構造体の動的軸圧潰変形挙動に関する一連の研究を行い、断面形状などが変形に及ぼす影響を解明してきた¹⁾。自動車用強度部材においては、主として所定の形状に加工された鋼板をスポット溶接して製作した中空の構造体が頻用されている。本報では、ハット型断面および平板からなる中空構造の強度部材の動的軸圧潰変形について、実験的検討を行った。また、数値計算による検討も行っており、スポット溶接も数値モデルに考慮した。さらに、数値計算で初期ピーク荷重を低減させる一方法の効果、負荷方向が部材に対して真直でない場合の変形挙動についても検討した。

2. ハット型断面強度部材の動的軸圧潰変形

2.1 実験方法 板厚 1 mm の 4 種類の冷間圧延鋼板(SPCC および高張力鋼板)を使用して、中空の強度部材を製作した。供試材の引張特性を Table 1 に示す。図 1 に衝撃試験機にセットされたハット型断面の強度部材を示す。ハット部高さは 20, 30, 40 mm である。衝撃実験には落錘式衝撃試験機を用い、落錘の衝突速度は 10 m/s とした。ハット部は、内曲げ半径 1 mm の V 曲げ加工によって製作し、ハット部と平板部は、フランジ部の縦方向中央線に沿って、20 mm ピッチでスポット溶接で結合した。溶接部は直径約 5 mm のほぼ円形である。

材料 No.1 と No.2 の実験では質量 65 kg の落錘を使用し、No.3 と No.4 では質量 100 kg の落錘を使用した。衝撃圧潰変形の様子は高速度ビデオカメラで観察した。一方、比較のため行った準静的実験では圧縮速度を約 1 mm/s とした。

2.2 計算方法および計算条件 ソルバーは動的陽解有限要素法コード DYNA3D²⁾を用いた。実験と同様に落錘が 10 m/s で部材の上端部に衝突する状況を想定した。図 2 に示すように強度部材は Belytschko-Tsay シェル要素を使用した。また、溶接部位に相当する要素の節点の運動を両部材について一致させることで、スポット溶接による変形に対する拘束を考慮した。板厚および材質は実験で用いたものと同様に与えた。部材下端の節点は、変位と回転を生じない設定とした。

ハット型部の角部は丸み半径を持たない設定とし、曲げによる局所的加工硬化は無視して、材料の初期機械的特性は部材内で一様とした。材料特性の変形速度依存性は考慮していない。実験で用いた部材は角部の内曲げ半径が 1 mm と小さく、こうした取り扱いが妥当であると考えられる。なお、すべての接触面で、静および動摩擦係数はそれぞれ 0.3 および 0.2 とした。

2.3 結果および考察 高速度ビデオで撮影した動的軸圧潰過程および数値計算結果の例を図 3 に示す。強度部材の上端

に落錘が衝突すると、上部から下方に向かってアコーディオンタイプの繰返し座屈変形が進展している様子がわかる。また、ハット高さが小さい $h = 20$ mm においては、単一箇所での折れ曲がり座屈を生じる場合が見られた。ハット高さに対する部材長さの比が大きくなると、単一箇所の屈曲座屈が生じやすくなり、この場合、衝撃エネルギー吸収能は低下する。この現象は、計算でも再現できた。

繰返し座屈進行中の圧縮応力(= 圧縮荷重 / 部材の材料部分の横断面積)は、初期ピークの後に周期的な変動を示す。

Table 1 Mechanical properties of steel sheets used in experiment (Thickness = 1.0 mm).

Material	K (MPa)	n	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	U.T.S.(MPa)
No.1	595	0.267	161	325
No.2	774	0.192	310	454
No.3	989	0.166	454	623
No.4	1371	0.163	595	878

Plastic property: $\sigma = Ke^n$, No.1: SPCC, No.2 ~ 4: 440, 590 or 780MPa class high strength steel sheet, U.T.S.: Ultimate tensile strength

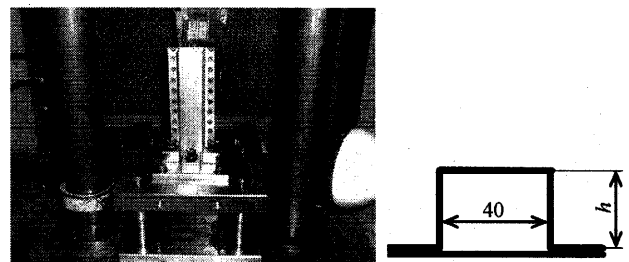
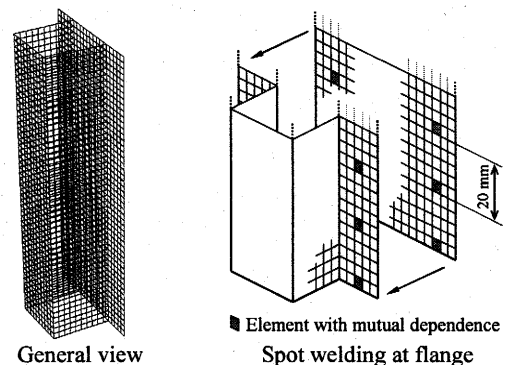


Fig.1 Hat-shaped structure to be impacted at its top edge by a drop hammer and cross-sectional shape.
 h : 20, 30, 40 mm, Longitudinal length: $L_0 = 200$ mm



General view
Element with mutual dependence
Spot welding at flange
Fig.2 Numerical model of hat-shaped structure.

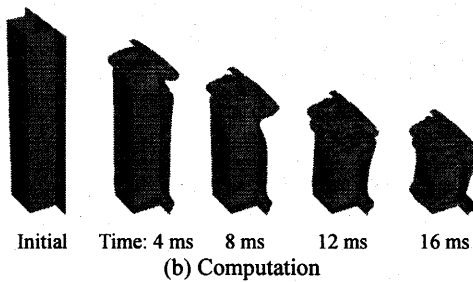
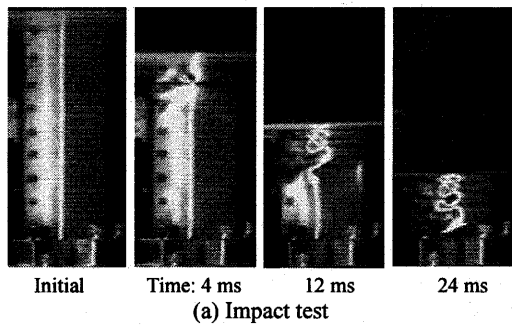


Fig.3 Progressive deformation patterns.
 $h = 30$ mm, Material: No.2

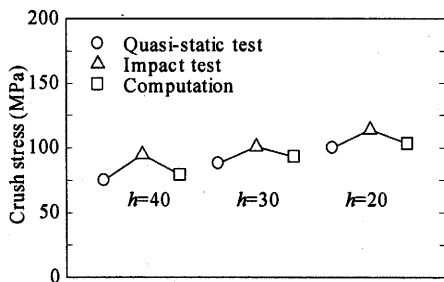


Fig.4 Crush strength in experiment and computation.
Material: No.2, h : Hat height

初期ピークを除いた圧縮応力の平均値(クラッシュ強度)を衝撃吸収能の尺度として評価した。得られたクラッシュ強度の例を材料 No.2 について断面形状ごとに図 4 に示す。ハット高さが低いほどクラッシュ強度が高くなった。これは、ハット高さが小さい時は、変形エネルギーが移動型の塑性ヒンジで費やされる割合が高くなることと、各部の変形が干渉しやすくなるためと考える。ハット高さを 40 mm から 20 mm へ変更すると、クラッシュ強度は 1.2~1.3 倍程度まで向上できることがわかる。こうした傾向は計算結果と一致した。

また、すべての材料および断面形状を通して、クラッシュ強度は衝撃実験の方が準静的実験のものよりも高かった。材料 No.1~3 では、計算で得られたクラッシュ強度は、動的実験と準静的実験の間の値になった。計算では材料の変形抵抗の速度依存性を無視したため、衝撃実験の値より小さくなったものと考えられる。

横断面形状を適切に選ぶことは、衝撃エネルギー吸収能の向上または使用材料の節約にかなり有効な手段であると言える。

3. 数値計算による各種検討

3.1 初期ピーク荷重の低減に関する考察 強度部材($h = 40$ mm)の衝撃端から 4 mm の箇所 で 45°折り曲げて初期形状不整を与えた場合について、衝撃変形挙動を調べた。図 5 に示すように、この種の簡単な形状の工夫で初期ピークは消滅できることがわかった。一方、変形形状を図 6 に示すが、形状不整を与えた端部が繰返し座屈変形の起点となるため、変形

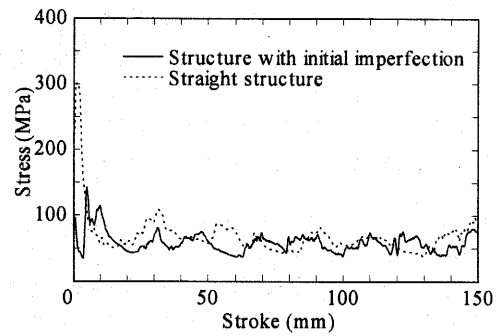


Fig.5 Effect of initial imperfection on stress vs. time curve.

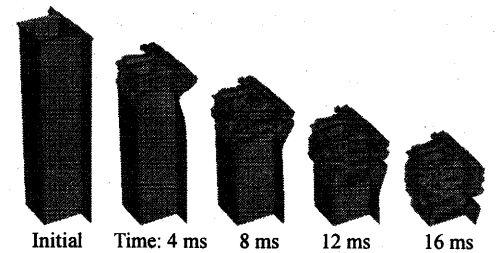


Fig.6 Progressive deformation patterns with initial imperfection at impact (top) edge.

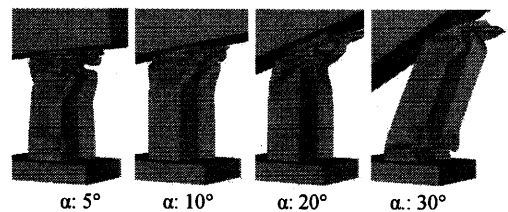


Fig.7 Deformation patterns in various impact directions.
Impact direction: α

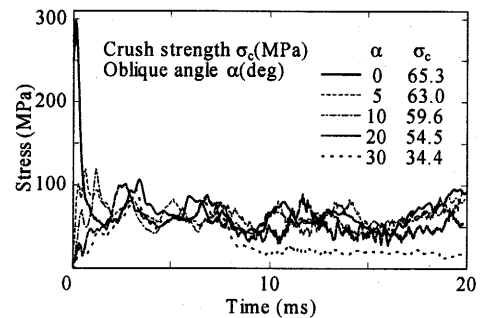


Fig.8 Compressive stress curves in various impact directions.

パターンの規則性が改善できることもわかった。なお、材料は弾線形硬化型塑性(勾配 400 MPa)とし、縦弾性係数 210GPa、初期降伏応力 300 MPa を与えた。

3.2 衝撃負荷方向が傾斜する場合の変形挙動 真直方向以外の衝撃負荷について、数値計算で検討した($h = 40$ mm)。材料特性は前述と同じ弾線形硬化型塑性で与えた。図 7 および図 8 に変形形状および応力変動を示す。5~20°までは、強度部材は屈曲することなくほぼ周期的な座屈変形を示し、ストロークが大きくなるに従って圧潰力は低下する傾向を示した。20%以下の低下ではあるが、用途によっては衝撃方向に対する注意が必要と言える。一方、30°では部材の固定部付近で屈曲し、変形途中から著しい圧潰力の低下を招いた。

参考文献

- 1) e.g., M. Yamashita et al., J. Mat. Proc. Tech., 140, 2003, pp.59-64.
- 2) Hallquist, J.O.: DYNA3D, User's manual Rev.5, 1989.