P69 アルミニウム中空押出し型材の軸圧潰挙動と緩衝特性に及ぼす孔の影響

Influence of a hole on axial crush behaviors and buffer characteristics of aluminum hollow extrusions

○ 大岩 憲史 (芝浦工大(院)) 正 岡本紀明 (芝浦工大) 酒井 拓真 (㈱シマノ)

Kenji OOIWA, Shibaura Institute of Technology, 3-7-5, Toyosu Koutou-ku, Tokyo

Noriaki OKAMOTO, Shibaura Institute of Technology, 3-7-5, Toyosu Koutou-ku, Tokyo

Takuma SAKAI, SHIMANO, 3-77, Oimatchou Sakai-ku Sakai-si Oosaka

1. 緒言 鉄道車両は大人輸送、高速運転の特徴から質量が巨大で衝突エネルギーは自動車の1000倍程大きく、クラッシュパルゾーンも限られていることから、乗員や乗客の安全を確保するための耐衝突構造を考えた場合、相応の工夫が必要である。その機能を実現する一構造形態として、今までの研究からアルミニウム中空押出し型材（以下、中空型材）で構成した箱型構造が有効である事が判明している⁽¹⁾。そして、衝撃吸収構造として車両端下部に設置する際に、鉄道車両下部には連結器・各種タンクなどが密に配置されており、それらを繋ぐ電気配管・空気配管を通すための孔が必要になる。本研究では要素実験で、孔が中空型材の軸圧潰挙動に与える影響を解明し、緩衝特性に対する孔の最適化を検討する。

2. 圧潰実験の供試体と方法

(1) 実験供試体 供試体を使用される中空型材の材料として、エネルギー吸収効率の良い焼鈍材 A6N01-0 を使用した⁽²⁾。供試体形状を図1、供試体写真を図2、断面寸法をピッチ1とした比で表1に示す。孔は供試体の中心に貫通させ、孔なしをH-0として孔径 d を $H \cdot d$ で示す。Model-1はH-0, H-20, H-30, H-40, H-50, H-70。Model-2はH-0, H-30, H-40, H-50, H-60, H-70でModel-2はピッチがModel-1より1.3倍大きい。供試体の長さは押出方向に200mm、ピッチ数は3とする。

Fig.1 Cross section of the hollow extrusion

Fig.2 Model-1_H-40

Table1 Test piece size

model	p/p	h/p	t_f/p	t_r/p	d/p
Model-1	1	0.53	0.038	0.026	0, 0.30, 0.45, 0.60, 0.76, 1.06
Model-2	1	0.47	0.033	0.020	0, 0.35, 0.47, 0.59, 0.71, 0.82

(2) 実験方法 実験は壁面座屈モード、面外変形量を測定するために実体格子型モアレトポグラフィを用いた。図3のように、1本のモアレ縞が1mmの面外変形量となるように光学系を設定した。そして、試験機に図4のガイドと加圧子を用いた供試体を取り付け軸方向に約100mm押込み変位を与えた。

Fig.3 Setup for Moiretopography

Fig.4 Experimental rig

3. 荷重-変位曲線 図5に実験より得たModel-1の荷重-変位曲線を示す。H-0は第1ピーク荷重(a点)後に急激な荷重降下が起き、その後に荷重が再上昇した(b点)。そして、再荷

重上昇後は大きな荷重の変動もなくプラトー状態になった。孔ありの例としてH-40を見ると、同様に第1ピーク荷重(a'点)後は荷重が降下し、その後、再上昇した(b'点)。しかし、孔ありは第1ピーク荷重が大幅に抑えられ、再荷重上昇との差が小さくなりH-0と比べ第1ピーク荷重から圧潰終了まで平らな荷重-変位曲線となった。また、図示していないがModel-2は供試体寸法が大きい分荷重は高いが、荷重-変位曲線の推移は孔なしと孔ありともにModel-1と類似した特徴を示した。

Fig.5 Load-displacement curves of Model-1

4. 壁面座屈の推移 図6にModel-1のH-0とH-40の第1ピーク荷重時(a点、a'点)における壁面座屈の凹凸を示す。H-0は主に上段から圧潰が始まるのに対し、H-40は中段から圧潰が始まる。そして、面外変形ではA-A面においてH-40は変形が少ないことが分かる。これは孔によって面が途切れて力が加わらないためである。その分B-B結節線・C-C面が力を支えるため、B-B結節線・C-C面の凹凸の変形は大きく、最大振幅はH-0では4mmだがH-40では6mmとなった。孔によって荷重を支える面積が少なくなり、H-0と比べて孔ありは壁面座屈が発生し易く第1ピーク荷重が抑えられた。

Fig.6 Wall-deformations for H-0 and H-40 of Model-1 at first peak load

次に再荷重上昇時(b点、b'点)の壁面座屈を図7に示す。第1ピーク荷重時の変形モードが成長し、H-0では凹方向に大きく変形した。第1ピーク荷重後の落ち込みは面板・結節線の座屈によって起き、特にB-B結節線の変形の変化が大きいことから、荷重を支えるのに大きく影響するのは結節線であると考えられる。そしてH-0の第1ピーク荷重後の落ち込みがH-40より急なのは、H-0は荷重支持面積が大きい分、座屈による落ち込みも大きくなるからである。さらに、図7よりH-0は壁面座屈が上段のみで発生するのにH-40は全体で壁面座屈が発生するため変形が進み易く、その分荷重が緩やかに推移すると考えられる。図8にH-40の圧潰終了後の供試体を切断した断面写真を示す。再荷重上昇後に荷重が大きく落ち込むことなくプラトー状態となったのは、孔なしと同様に孔ありの場合でも蛇腹状に壁面座屈が起こり、図8のように面板・リブが自己接触を起こし、荷重を保持しながら圧潰が進むからであると考えられる。

Fig.7 Wall-deformations for H-0 and H-40 of Model-1 at re-load rise

Fig.8 Wall-deformation and cross sections in H-40 of Model-1 after test

5. ピーク荷重と孔径 図9にModel-1とModel-2のそれぞれの孔径に対する断面積と第1ピーク荷重の関係を示す。

Fig.9 Cross-sectional area vs. peak load

Model-1とModel-2の関係は類似しており、傾き1の線上より第1ピーク荷重比は0.08以内のずれで収まり、第1ピーク荷重と断面積とは比例に近い関係である。孔径が大きくなるほど第1ピーク荷重が落ち込むのは、孔によって荷重を支える断面積の減少が一因であると考えられる。

6. 緩衝特性 図10にModel-1とModel-2の孔なしH-0を1とした孔径比 d/p に対する緩衝特性を示す。エネルギー吸収効率 η は孔によって上昇した。Model-1はH-40で15%増、Model-2はH-70で25%増となった。これは、エネルギー吸収量 Q が孔による落ち込みはあるものの、孔径では大きく落ち込むことなく横ばいに推移したのに対し、最高荷重 P_{max} は孔によって減少したためである。しかし、Model-1でエネルギー吸収効率 η は山形の推移となることより、孔径が大きくなり過ぎてもエネルギー吸収効率 η は減少することが判明した。特にModel-1の孔径比1以上のH-70は、図5より他と比べて第1ピーク荷重から再荷重上昇までが大きく減少している。孔径比1以上は図1において真ん中の3つの結節部を削り、荷重支持面積の減少が大きいため、第1ピーク荷重から再荷重上昇までが下がり過ぎて、エネルギー吸収効率 η を下げる結果となった。次にModel-2では孔径比0.82でも緩衝効率は上昇した。これはModel-1と断面寸法が異なるため違いが生じる。Model-2は第1ピーク荷重が高くて再荷重上昇までの落ち込みがModel-1より大きく、H-0のエネルギー吸収効率 η はModel-1が72%に対してModel-2は65%であった。そして、Model-2の方が第1ピーク荷重から再荷重上昇までの荷重の幅が大きい分、孔径比0.82でも第1ピーク荷重が下がり過ぎることはなくエネルギー吸収効率 η は上昇した。しかし、孔径比1を超えればModel-1と同様に結節部の減少により、エネルギー吸収効率 η は減少すると考えられる。

Fig.10-1 Buffer characteristics of Model-1

Fig.10-2 Buffer characteristics of Model-2

P_{max} : 最高荷重

P_m : 平均荷重

Q : エネルギー吸収量

δ_{max} : 最終押込み変位

$$\text{エネルギー吸収効率 } \eta = \frac{Q}{P_{max} \times \delta_{max}} \times 100 [\%] = \frac{P_m}{P_{max}} \times 100 [\%]$$

7. 結言

- (1) 中空材に孔を貫通させると、第1ピーク荷重が抑えられ、ピーク荷重後は孔なしと同様の荷重の推移を示す。
- (2) 中空材の緩衝器に通す孔はエネルギー吸収量、緩衝効率の点からピッチに対して、孔径がModel-1は0.6付近が有効である。Model-2は0.8付近が有効であると考えられる。

文献

- (1) 酒井, 岡本: 日本機械学会, 講演論文集No.060-1, pp4 23-424, 2006.3.
- (2) 角田, 岡本, 他 4 名: 機講論, Vol.70, No.600, 1001-1002, (2005-10)